



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTÍ Z PLASTU

TECHNOLOGY OF PRODUCTION COMPONENTS FROM PLASTIC MATERIAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PAVEL ŠPIČÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Pavel Špičák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Technologie výroby součástí z plastu**

v anglickém jazyce:

### **Technology of production components from plastic material**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat literární studii dané problematiky a vypracovat konstrukční řešení formy

Cíle diplomové práce:

1. Literární studie dané problematiky
2. Návrh technologie výroby
3. Výkresová dokumentace formy a potřebné výpočty
4. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 229 s.

SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi : Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. různ., CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování PLASTŮ. Těšínova 5, Praha 10: Nakladatelství BEN technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 22.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

ŠPIČÁK Pavel: Výroba součástí z plastů

---

Projekt, vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru N2307- 00 Strojírenské technologie, předkládá návrh technologie výroby součástí z plastů- krytky do stolu. V úvodní části studie jsou popsány vlastnosti, rozdělení a možné zpracování plastů. Práce obsahuje návrh technologie výroby (vstřikování plastů do kovové formy) a její konstrukční řešení. Součástí práce je i návrh vhodného materiálu výstřiku a ověření volby konkrétního vstřikovacího stroje. Závěr práce zahrnuje ekonomické zhodnocení vstřikovacího procesu, přílohou a výkresovou dokumentaci.

**Klíčová slova:** technologie zpracování plastů, vstřikování plastů, vstřikovací forma, polypropylen, vlastnosti plastů

## ABSTRACT

ŠPIČÁK Pavel: Production single parts from thermoplastic

---

The project developed in terms of engineering study of field N2307- 00 Engineering Technology submits a design of components from plastic production technology- cover on the table. The introductory part of this study describes characteristics, division and possible plastics processing. The work consists of production technology proposal (injection into metal mold) and its construction solution. The another part proposes suitable injection material and verification of injection machine. The final part of work consists of financial evaluation of injection process, appropriate blue prints and appendices.

**Keywords:** plastic elaboration technology, plastic injection, injection mold, polypropylene, characteristics of plastic

### **Bibliografická citace mé práce**

ŠPIČÁK, P. *Technologie výroby součástí z plastu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

### **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 27.5. 2011

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

**Zadání**

**Abstrakt**

**Bibliografická citace**

**Čestné prohlášení**

**Poděkování**

**Obsah**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>ROZBOR SOUČÁSTI .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>PLASTY .....</b>	<b>12</b>
3.1	Složení plastů .....	12
3.2	Základní dělení plastů .....	12
3.3	Vlastnosti plastů .....	14
3.4	Zpracování plastů – přípravná fáze .....	16
3.5	Možné metody zpracování plastů .....	16
3.5.1	Vytlačování .....	16
3.5.2	Přetlačování .....	17
3.5.3	Válcování .....	18
3.5.4	Vyfukování .....	18
3.5.5	Pěnění .....	18
3.5.6	Ohýbání a tvarování plastových desek .....	19
3.5.7	Lepení .....	20
3.5.8	Svařování .....	21
3.5.9	Lisování .....	21
3.5.10	Obrábění .....	22
3.5.11	Vstřikování .....	22
3.6	Vyhodnocení možných metod použití .....	23
<b>4</b>	<b>TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ .....</b>	<b>24</b>
4.1	Vstřikování .....	24
4.1.1	Dávkování .....	24
4.1.2	Plastikace materiálu .....	24
4.1.3	Vstřikování taveniny plastu do formy .....	25
4.1.4	Dotlak .....	27
4.1.5	Chladnutí hmoty ve formě .....	28
4.1.6	Vyjmutí výstřiku z formy .....	29
4.2	Tlakový diagram .....	29
4.3	Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku .....	30
4.4	Vstřikovací stroje plastů .....	31
4.5	Vstřikovací formy .....	32
4.5.1	Rozdělení vstřikovacích forem .....	33
4.5.2	Konstrukce vstřikovací formy .....	33



<b>5</b>	<b>VÝBĚR MATERIÁLU A ZAFORMOVÁNÍ DÍLCE.....</b>	<b>38</b>
5.1	Materiál výstřiku .....	38
5.2	Dělicí rovina .....	39
5.3	Smrštění dílce .....	39
5.4	Povrch dílce .....	40
5.5	Technologické radiusy .....	40
5.6	Technologické úkosy .....	41
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FORMY .....</b>	<b>43</b>
6.1	Násobnost formy .....	43
6.2	Výpočet rozváděcích kanálků .....	46
6.3	Vyhazovací systém .....	49
6.4	Temperační soustava.....	52
6.5	Odvzdušnění formy.....	53
6.6	Materiál formy .....	54
<b>7</b>	<b>KONTROLA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VÝROBY .....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
	Seznam použité literatury .....	62
	Seznam použitých zkratk .....	64
	Seznam obrázků .....	68
	Seznam tabulek .....	69
	Seznam příloh.....	70

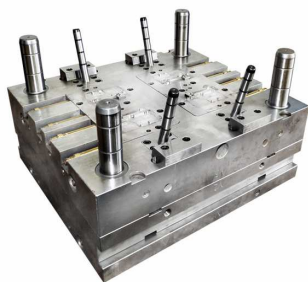
# 1 ÚVOD [5], [7], [11], [15], [17], [18], [19], [24]

Historie plastů neboli polymerů se datuje od čtyřicátých let minulého století. V průběhu několika dalších desítek let, zejména v posledních třiceti letech, zaznamenaly polymery i jejich zpracování nebývalý pokrok. Jedním z hlavních důvodů tohoto rychlého rozvoje je především možnost jejich použitím nahradit řadu klasických materiálů (kovy, keramiku, sklo, porcelán, dřevo aj.). Samotné plasty mají zcela odlišné vlastnosti a v mnoha případech i lepší než tyto klasické materiály. Přednosti plastů umožňují použití nových aplikací a řešení dalších materiálových problémů. Největší nevýhodou plastu je jejich ekologický dopad, neboť v přírodě se odpad z nich rozkládá poměrně dlouhou dobu. I přes tyto nevýhody neexistuje snad již dnes jediné odvětví, které by plasty nevyužívalo. V některých aplikacích jsou plasty prakticky nezastupitelné.

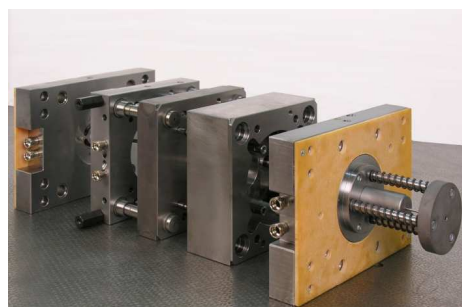
Jednou z nejrozšířenějších a nejoblíbenějších technologií zpracování plastů je vstřikování. Tato práce se bude zabývat vstřikováním plastů do kovové formy. Na obrázku č. 1, 2, 3 jsou zobrazeny vstřikovací formy.

Jedná se o vstříknutí roztaveného polymerního materiálu do dutiny kovové formy pomocí vstřikovacího stroje. Po následném ztuhnutí roztaveného polymeru v dutině formy vznikne dílec o požadovaném tvaru a velikosti a zpravidla není nutno ho dále opracovávat. Ve většině případů je možno dílec odeslat rovnou spotřebiteli. Vstřikovací cyklus je relativně rychlý a lze jej plně automatizovat.

V průběhu posledního desetiletí jsou na proces vstřikování kladeny velké nároky a to z hlediska rozměrové přesnosti, které lze dosáhnout pouze při dodržení optimálních zpracovatelských parametrů. Nevýhodou technologie vstřikování plastů je její finanční náročnost při výrobě vstřikovací formy a při pořízení optimálního vstřikovacího stroje.



Obr. č. 1 Část vstřikovací formy [21]



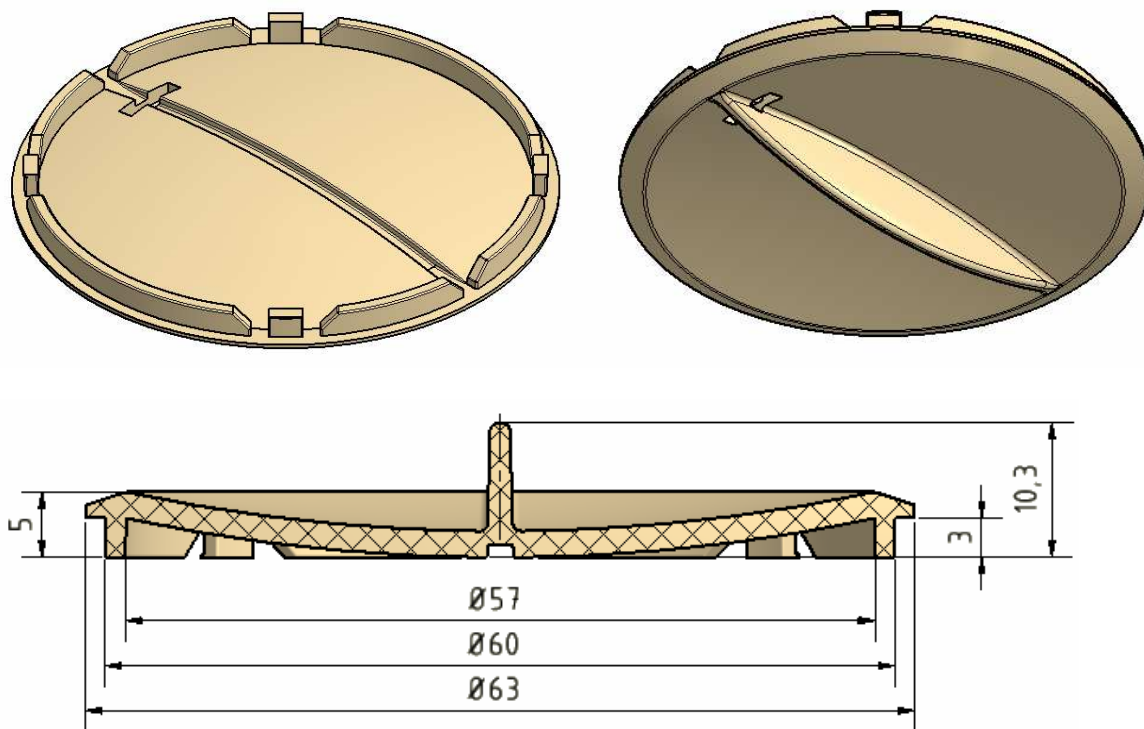
Obr. č. 2 Vstřikovací forma [28]



Obr. č. 3 Vstřikovací forma pohled na tvarové dutiny [19]

## 2 ROZBOR SOUČÁSTI

### Krytka do stolu



Obr. č. 4 Krytka do stolu

### Využití krytky

Krytka do stolu se používá k zakrytí otvoru vrtaných pro vedení kabelů počítačů a elektrických šňůr. Možnost využití je i u zahradních stolů k zakrytí středových otvorů pro slunečníky.

## 3 PLASTY

### 3.1 Složení plastů [7], [20], [27]

Plasty (polymery) jsou makromolekulární látky organického (přírodního) nebo syntetického původu s relativní molekulovou hmotností desítek až stovek tisíc. Makromolekulární látky získáváme nejčastěji z ropy, zemního plynu, uhlí a dalších surovin. Polymery tvoří látky obsahující ve svých molekulách zpravidla atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku, chlóru a jiných prvků. Plast je za normálních podmínek v tuhém stavu. Při zvyšování teploty přechází do stavu taveniny, která je schopna vytvořit tvar budoucího výrobku.

Materiál plastu není pouze makromolekulární látka, ale směs, kterou tvoří základní plastický polymer a přídavné látky jako jsou stabilizátory světelné nebo tepelné, antioxidanty, plniva, barviva, maziva, změkčovadla, technologická ředidla, látky zvyšující rázovou houževnatost, elasticitu a jiné. Tyto přídavné látky nám umožní získat materiál o požadovaných vlastnostech.

### 3.2 Základní dělení plastů [7], [10], [17], [20]

#### Podle molekulární struktury

- **amorfní plasty** – makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici (obr. č. 5)
- **krystalické (semikrystalické) plasty** – vykazují určitý stupeň uspořádanosti

#### Podle chemického složení

- **akryláty**
- **animoplasty**
- **fenoplasty**
- **polyamidy**
- **polyestery**
- **silikony**

#### Podle typu chemické reakce, kterou vznikají makromolekulární látky

- **polymeráty** - (vznikají polymerací) např. polystyren, polyakrylát atd.
- **polykondenzáty** - (vznikají polykondenzací) např. epoxidové pryskyřice atd.
- **polyadukty** – (vznikající polyadící) např. polyuretany
- **plasty na bázi přírodních produktů** např. bílkoviny, celulóza atd.

### Podle výchozích surovin

- **polosyntetické** (z přírodních polymerů jako je bílkovina, přírodní kaučuk atd.)
- **plně syntetické** (z polymerační syntézy nízkomolekulárních organických sloučenin jako zemní plyn, uhlí atd.)

### Podle chemického složení základního řetězce

- **karyoplasty**
- **karboxioplasty**
- **siloxioplasty**
- **karbothioplasty**
- **karboazoplasty**

### Podle druhu přísad

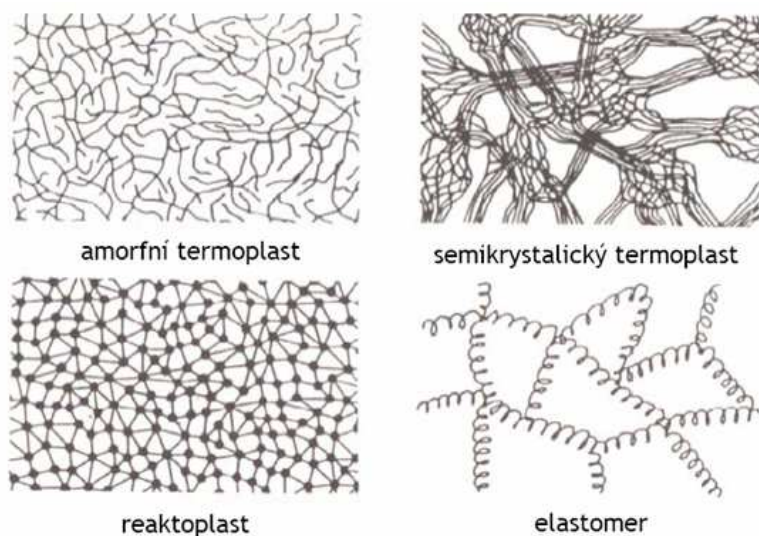
- **neplněné plasty** – množství přísad neovlivňuje vlastnosti plastu
- **plněné plasty** – plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti

### Podle polaritý

- **polární plasty** – mají trvalý dipól
- **nepolární plasty** – nemají trvalý dipól

### Podle chování za zvýšené teploty

- **termoplasty** – plasty teplem tavitelné. Mají polymerní řetězce přímé nebo boční. Tyto řetězce se při ohřevu uvolní a materiál se stává tvárným. Při ochlazení opět tuhnou, aniž by se výrazně měnily vlastnosti materiálu. Tvářecí teploty se pohybují okolo 80 °C až 140 °C. Vlivem zvýšené teploty dochází k fyzikálním změnám látky, struktura však zůstává stále stejná. Tyto vlastnosti umožňují materiál opakovaně tvářet, což se využívá při zpracování odpadu či zmetků.
- **reaktoplasty (dříve nazývané termosety)** – plasty teplem tvrditelné. Látky, které zahříváním dostávajíme do plastického stavu a lze je tlakem tvářet. Při následném zvýšení teploty dochází nejen k fyzikálním změnám, ale i k chemickým (změna struktury). Látky získají prostorovou strukturu a není možné je dále tavit a rozpouštět. Tyto vlastnosti již neumožňují opětovně zpracovávat odpad a zmetky
- **elastomery** – plasty s elastickými vlastnostmi. Jedná se o pryže, které vzniknou vulkanizací kaučuku a různých přísad. Tento proces je stejně jako u reaktoplastů nevratný (vznik prostorové struktury). Vyznačují se velkou elasticitou i při velkém rozsahu teplot (-40 °C až 260 °C). U elastomerů na bázi termoplastů nedochází k chemickým změnám struktury, ale pouze k fyzikálním, což nám umožňuje proces měknutí a následného tuhnutí opakovat.



Obr. č. 5 Nadmolekulární struktura polymerů [17]

### 3.3 Vlastnosti plastů [12], [15]

Přednostmi plastů jsou pevnost, dobrá tvarovatelnost, snadná opracovatelnost, malá hustota, dobré mechanické vlastnosti, dobrá chemická a korozní odolnost, výborné elektroizolační vlastnosti, pěkný vzhled, snadné zpracování, přijatelná cena, možnost rychlé sériové výroby a plné automatizace, malé procento materiálového odpadu a řada dalších výhod.

Při návrhu součástí z plastu bereme v úvahu kromě technologie zpracování a tvaru součástí také materiál a jeho vlastnosti. Vlastnosti plastu se posuzují z hlediska reologických, mechanických, fyzikálních, technologických, chemických a fyzikálně chemických vlastností. Mechanické parametry plastů jsou na rozdíl od kovů výrazně závislé na teplotě a času.

#### Reologické

- index toku taveniny
- dynamická viskozita taveniny plastu
- smrštění výrobní a dodatečné (rozdíl mezi objemem taveniny a po ztuhnutí taveniny)

#### Mechanické

- statické
  - modul pružnosti v tahu ( $E$ ) a ve smyku ( $G$ )
  - statická pevnost za studena a za tepla
    - při krátkodobém zatížení
    - při dlouhodobém zatížení

- creep modul
  - tvrdost
- **dynamické**
  - vrubová a rázová houževnatost
  - únavová pevnost
- **speciální**
  - odolnost proti šíření trhlin

### Fyzikální

- **obecné**
  - hustota (měrná hmotnost)
- **tepelné**
  - tepelná vodivost
  - teplotní roztažnost
  - teplota tavení a skelného přechodu
  - hoření, hořlavost a samozhášitelnost
  - degradace teplem
- **elektrické**
  - rezistivita (elektrický odpor vnitřní a povrchový)
  - elektrická průrazová pevnost
  - statická elektřina

### Technologické

- **tvářitelnost**
- **obrobitelnost**
- **svařitelnost**

### Chemické a fyzikálně chemické

- **sorpční**
  - nasákavost
  - navlhavost (vzdušná vlhkost)
- **difúzní**
  - bobtnání
  - rozpuštění
- **korozní**
  - odolnost vůči chemikáliím
  - koroze za napětí

### 3.4 Zpracování plastů – přípravná fáze [7], [17]

Přípravná fáze výrobního procesu plastového dílce vyžaduje z technologického hlediska určitou před přípravu používaných směsí. Můžeme ji označit jako mezistupeň mezi výrobou polymerního polotovaru a vlastní zpracovatelskou operací. V podstatě jde o přípravu směsi, kde základem je požadovaný polymer a k němu jsou přidávány přídatné látky (rozpouštědla, plniva barviva atd.). V přípravné fázi se mohou používat následující operace: hnětení, míchání, aglomerace, recyklace odpadů, některá specifická zpracování pro technologicky náročnější výrobní účely. Výhodné při zpracování plastu je používání granulovaných a tabletových materiálů.

- **granulace** - zpracování termoplastů do tvarové podoby granulí, které jsou technologicky výhodnější pro následné zpracování. Výhody granulace:
  - snadné dopravení materiálu do plastikářského stroje
  - strojově přesné dávkování
  - snadnější a efektivnější ohřev polotovaru
  - dobré tokové vlastnosti
  - snadnost směšování s dalšími přísadami
  - možnosti vpravení vratného odpadu (vtokových zbytků, zmetků)
- **tabletování** – zpracování převážně reaktoplastů do tvarové podoby tablet (plochého válce pro lisovací technologie). Výhody tabletování jsou stejné jako u granulace. Výhodou navíc je zkrácení doby otevření formy, uvolnění nežádoucích plynných podílů a zmenšení plnicího prostoru lisovací formy.

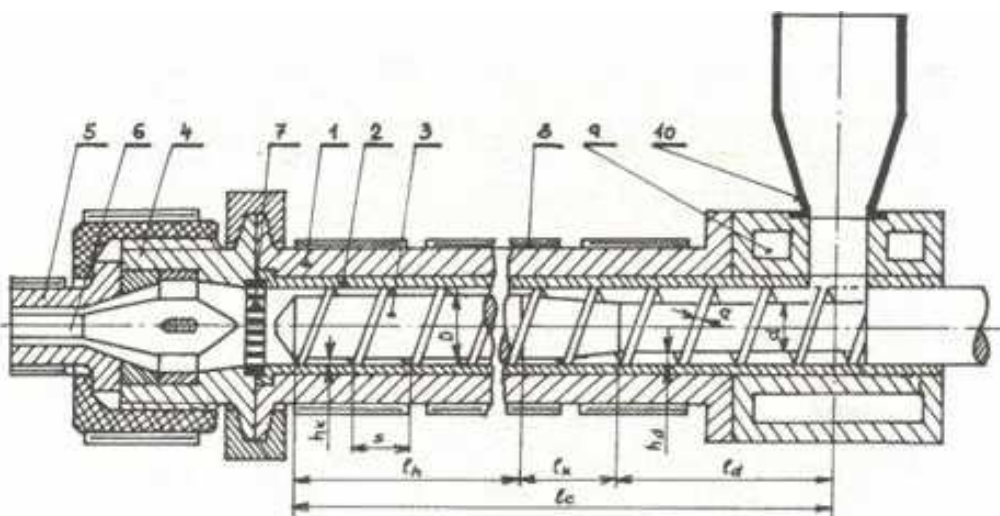
### 3.5 Možné metody zpracování plastů [7], [17], [20]

Součástí této diplomové práce je i vyhodnocení možnosti použití různých technologií zpracování plastu na požadovanou součást (průchodku). Makromolekulární materiály jsou velmi dobře technologicky zpracovatelné. Tyto materiály se vyskytují pouze ve dvou skupenstvích (pevném a kapalném) a jejich teplota tání ( $T_m$ ) u většiny termoplastů a teplota vytvrzení ( $T_t$ ) u reaktoplastů je z technologického hlediska poměrně nízká a snadno dosažitelná. Polymery se dají zpracovat různými technologiemi. Jejich přehled i se stručným popisem principu je uveden níže.

#### 3.5.1 Vytlačování

Tato technologie je založena na vytlačování granulovaného materiálu, který je ohřát na teplotu tání  $T_m$  hlavou různého tvaru profilu (udává tvar výrobku) do volného prostoru pomocí šnekového vytlačovacího stroje (obr. č. 6). Touto technologií se vyrábějí trubky, kabely, tyče, desky, fólie atd.



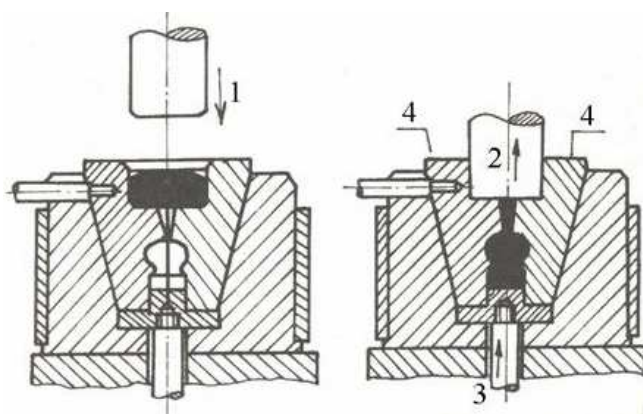


**Obr. č. 6 Jednošnekový vytlačovací stroj [17]**

- |                           |              |
|---------------------------|--------------|
| 1- pracovní válec         | 6 – trn      |
| 2- pouzdro, tavící komora | 7 – lamač    |
| 3 – šnek                  | 8 – topení   |
| 4 – vytlačovací hlava     | 9 – chlazení |
| 5 – hubice                | 10 - násypka |

### 3.5.2 Přetlačování

Způsob zpracování reaktoplastů, kde se plast nekládá přímo do tvarové dutiny formy jako u lisování, ale do pomocné dutiny formy, odkud se přetlačuje (pomocí tlaku pístu) po zplastikování vtokovými kanály do vlastní dutiny formy (obr. č. 7) Použití pro výlisky složitých tvarů, výlisky se zářisky atd.

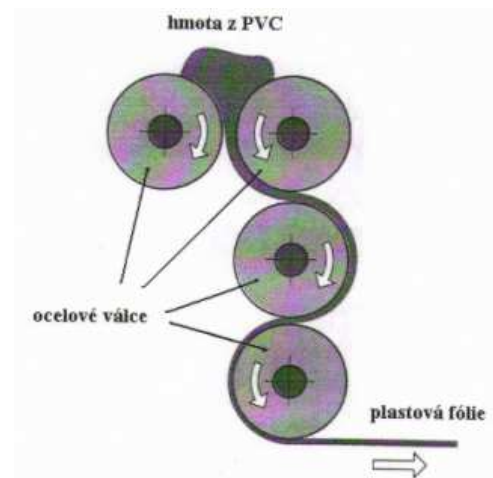


**Obr. č. 7 Jednošnekový vytlačovací stroj [17]**

- 1 – přetlačení volného reaktoplast, 2 – pohyb tvárníku, 3,4 - vyhození výlisku

### 3.5.3 Válcování

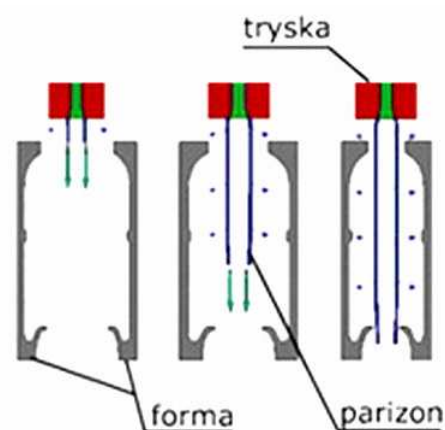
Průchod materiálu mezi dvěma válci (obr. č. 8), které nám způsobuje hnětení materiálu a zlepšení kvality povrchu. Zde platí, čím více průchodů mezi válci, tím je materiál více prohněten a kvalita povrchu je lepší. Válcováním se vyrábí plastové fólie, popřípadě nanášení vrstvy plastu na zvolený materiál.



Obr. č. 8 Fóliový válcovací stroj [20]

### 3.5.4 Vyfukování

Dutý polotovár z plastu, který je nahřát do plastického stavu, je tvarován ve vyfukovací formě v důsledku přetlaku vzduchu. Tato metoda se nejvíce používá při výrobě PET lahví, viz obrázek č. 9 či různých dutých součástí.

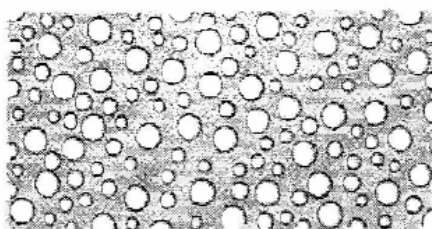


Protažení parizonu

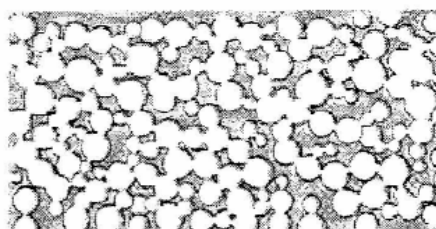
Obr. č. 9 Princip výroby vyfukováním [17]

### 3.5.5 Pěnění

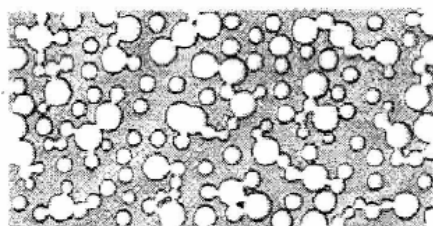
Pěněním získají plasty porézní strukturu (malé dutiny kulovitého tvaru), které jsou vyplněny vzduchem nebo jiným plynem (obr. č. 10). Tato struktura je dosažena pomocí nadouvadla, které se přemění na plyn. Díky porézní struktuře získají plasty velmi dobré izolační vlastnosti a mají malou hustotu. Pěnit lze téměř všechny plasty. Pěnová hmota může být trojí struktury, s uzavřenými póry, s otevřenými póry a se smíšenými póry.



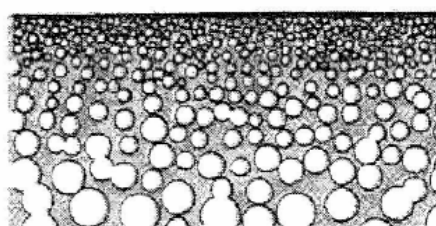
**pěna s uzavřenými póry**



**pěna s otevřenými póry**



**pěna se smíšenými póry**

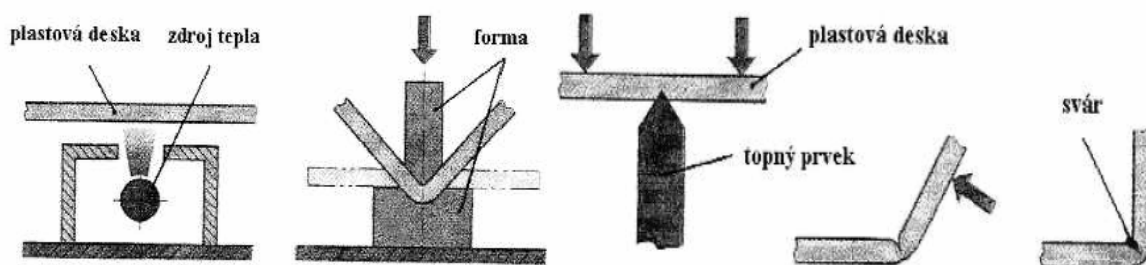


**strukturovaná pěna**

**Obr. č. 10 Struktura pěnových plastů [20]**

### 3.5.6 Ohýbání a tvarování plastových desek

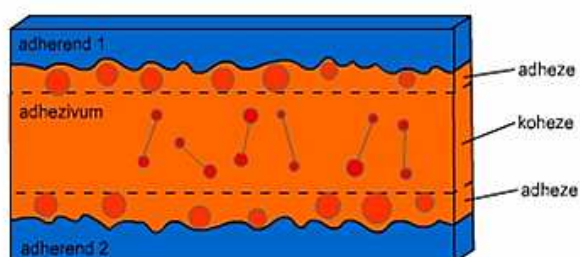
Ohýbání se provádí většinou u termoplastů. Reaktoplasty lze ohýbat jen velmi těžce a v omezeném rozsahu. Ohýbání termoplastů se provádí pomocí zahřátí (uvedení do elastického stavu) ohýbaného místa a následném ohnutí přes hranu na jeden tah (obr. č. 11). Pro ohřívání se používá horkovzdušná pistole, nebo topným tělesem. U ostrohranného ohýbání se materiál zahřeje na daném místě do poloviny tloušťky přitisknutím klínového topného článku a ihned se hrana ohne (obr. č. 12). Vznik svaru na vnitřní straně ohybu.



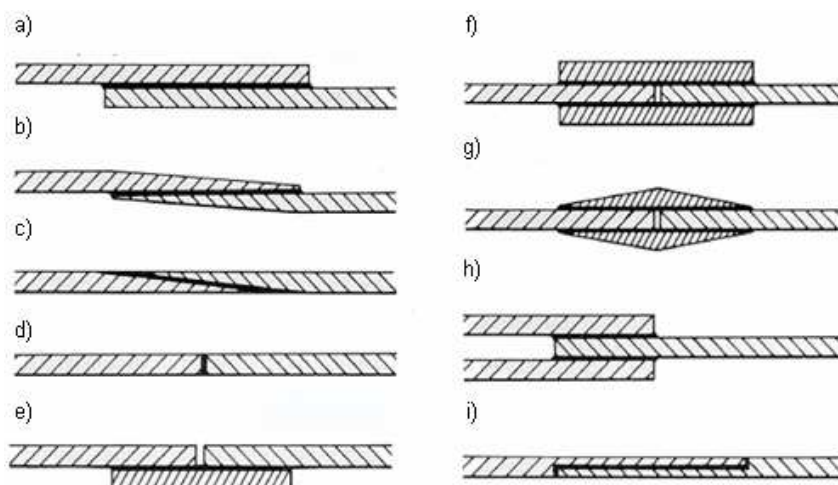
**Obr. č. 11 Ohýbání desek z termoplastu [20] Obr. č. 12 Ohýbání hran svařováním [20]**

### 3.5.7 Lepení

Lepení je metoda spojování materiálu, jejímž výsledkem je nerozebíratelný spoj (obr. č. 13). Při lepení lze spojovat dva stejné nebo i odlišné materiály za pomoci lepidla. Druh lepidla se volí podle vlastností spojovaného materiálu (znalost složení, struktury a propustnosti plynů). Na vznik kvalitního spoje má vliv kvalitní příprava lepeného spoje (odstranění nerovností, odmaštění atd.), charakter zatížení tohoto spoje a typ spoje (obr. č. 14). Výhodou této metody je možnost lepení dílů různé velikosti a tloušťky, zachovávání si vnějšího vzhledu a nedochází k narušení struktury.



Obr. č. 13 Princip lepeného spoje [17]

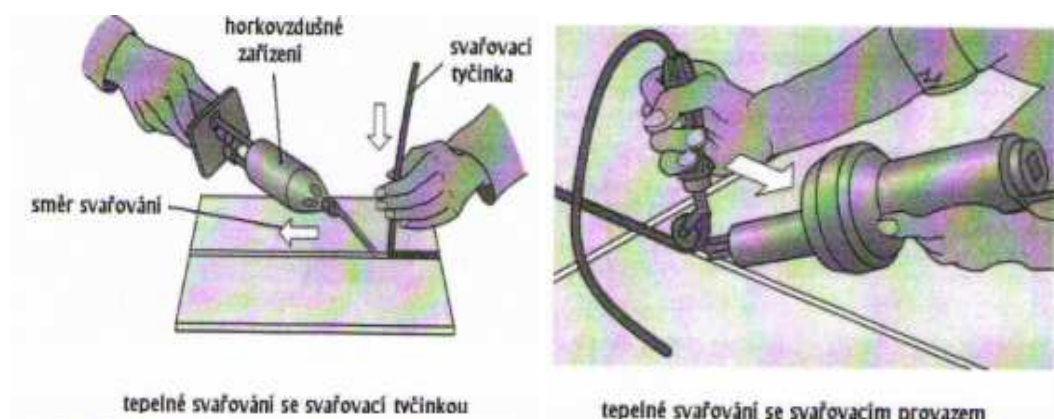


Obr. č. 14 Typy lepených spojů [17]

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| a) jednoduchý přeplátovaný spoj | f) dvojité přeplátovaný spojený pásem         |
| b) zúžený přeplátovaný spoj     | g) dvojité přeplátovaný spoj se zúženými pásy |
| c) zkosený spoj                 | h) dvojité přeložený spoj                     |
| d) tupý čelní spoj              | i) stupňovitě přeložený spoj                  |
| e) přeplátovaný spojený pásem   |   |

### 3.5.8 Svařování

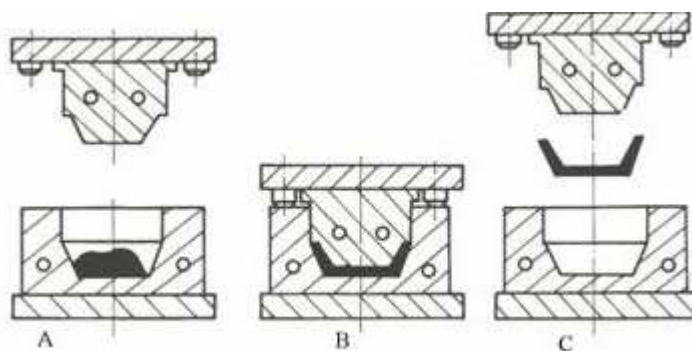
Svařování je technologie spojování plastových dílů za pomoci tepla (obr. č. 15) nebo tlaku s pomocí přídavného materiálu nebo bez něj. Svařují se pouze termoplasty, které se uvedou do plastického nebo tekutého stavu. Výhodné jsou termoplasty s širokou oblastí viskozního stavu, termoplasty s pozvolným přechodem do tekutého stavu.



Obr. č. 15 Tepelné svařování [20]

### 3.5.9 Lisování

Touto technologií se převážně zpracovávají reaktoplasty. Princip metody lisování (obr. č. 16) spočívá ve vpravení materiálu do dutiny dvoudílné, většinou ocelové, formy. Účinkem tlaku a tepla se dostává materiál do plastického stavu, kde mu je v tomto okamžiku formou (profilem) vnucen požadovaný tvar. Po následném vychladnutí je výlisek vyjmut z formy. V dnešní době se většinou lisování nahrazuje vstřikováním.

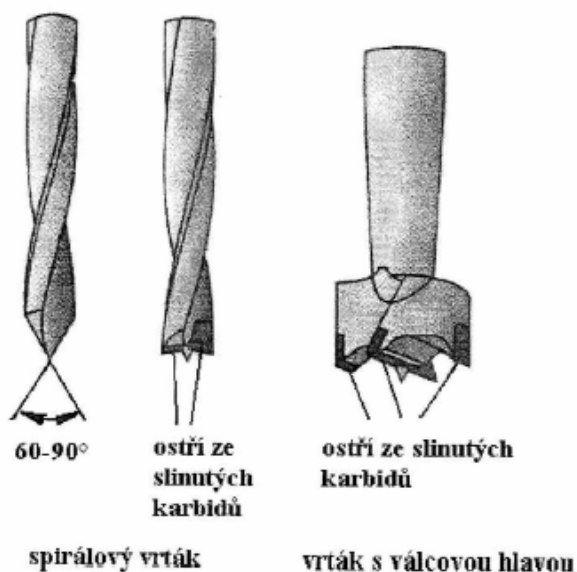


Obr. č. 16 Princip lisování termoplastů [17]

A – vložení reaktoplastu do formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození výlisku

### 3.5.10 Obrábění

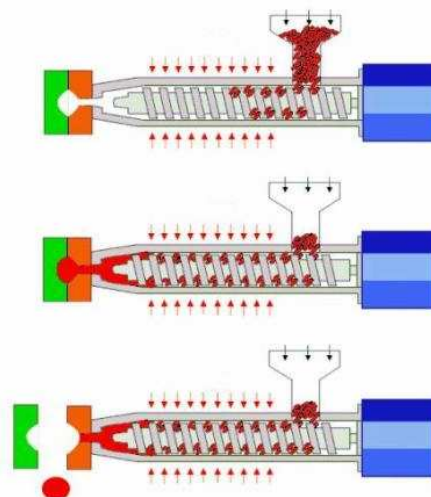
Proces obrábění znesnadňuje celá řada kritérií, a to zejména špatná tepelná vodivost, nízká tepelná odolnost a velká tepelná roztažnost. Obráběné plochy se rychle zahřívají, což u termoplastů vede k tavení, mazání, vzniku nebezpečného prachu a současně i zápachu. Obrábět lze pomocí ručních nástrojů, elektrického ručního nářadí i dřevoobráběcích strojů. Obrázek č. 17 ukazuje různé typy vrtáků na plasty.



Obr. č. 17 Vrtáky na plasty [20]

### 3.5.11 Vstřikování

V současné době nejrozšířenější způsob zpracování plastů. Jde o zpracování termoplastů, dnes už i reaktoplastů, kde materiál ve formě granulí je roztaven v tavící komoře a tlakem pomocí tlakové komory vstříknut velkou rychlostí do formy. Zde následně ztuhne v hotový výrobek (obr. č. 18).



Obr. č. 18 Vstřikování [17]



### **3.6 Vyhodnocení možných metod použití**

Pro výrobu požadované součásti (krytky) je zřejmé, že z uvedených technologií zpracování plastů lze použít pouze tři metody, a to metodu lisování, obrábění a vstřikování. Ostatní metody jsou z principu technologie pro výrobu krytky nemožné či nereálné.

#### **Lisování**

Metoda lisování je pro výrobu krytky z technologického hlediska vhodná, ovšem její použití má svá značná úskalí. Slabší stránkou této metody je nutnost přesného dávkování a v podstatě nemožnost automatizace procesu. Výhodou metody je téměř nulový odpad. Vhodnost použití této metody je zejména u malosériové výroby, kde by například výroba vstřikovací formy byla výrazně dražší než forma pro lisování.

#### **Obrábění**

Z principu technologie tato metoda splňuje požadavky na výrobu krytky. Tato metoda má své výhody i nevýhody, kterých je u obrábění plastů více. Největší výhodou této metody je možnost automatizace. K hlavním nevýhodám řadím nedostatečný odvod tepla, které způsobuje tavení materiálu, nízká produktivita práce, velké množství odpadu.

#### **Vstřikování**

Metoda vstřikování plně splňuje požadavky na výrobu krytky. Největšími výhodami vstřikování jsou možnost plně automatizovaného procesu, vysoká produktivita, u termoplastu možnost až 100% recyklovatelnosti výrobního odpadu. Jedinou nevýhodou procesu vstřikování je velmi drahý samotný nástroj (forma). Tato nevýhoda se však u velkosériové výroby prakticky smazává.

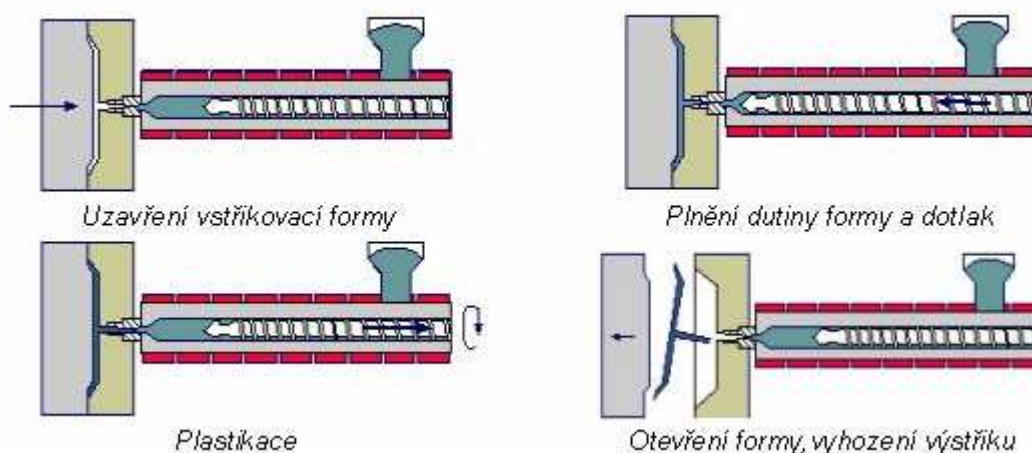
Z výše uvedených skutečností je zřejmé, že pro výrobu krytky do stolu je nejlepší volbou metoda vstřikování. Výroba krytky lisováním nebo obráběním by byla ekonomicky velmi nevýhodná. Další část diplomové práce se tedy již bude zabývat metodou vstřikování, jejím popisem a návrhem formy na požadovanou součást.

## 4 TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

### 4.1 Vstřikování [8], [12], [13], [16], [17], [26]

Vstřikovací proces a jeho průběh je znázorněn na obrázku č. 19. Kvalitu výrobku při procesu vstřikování ovlivňuje mnoho aspektů jako například druh plastu, technologické parametry, konstrukce formy, volba stroje. Tyto aspekty neovlivňují proces vstřikování jednotlivě, ale vzájemně se propojují. Vstřikovací cyklus je relativně rychlý a dá se lehce automatizovat. Lze jej rozdělit na tyto hlavní fáze:

- dávkování a plastikace materiálu v tavném válci vstřikovacího stroje
- vstříknutí taveniny plastu do uzavřené vstřikovací formy
- dotlačování taveniny a její chlazení ve formě až do ztuhnutí
- vyjmutí ztuhlého výstřiku z otevřené vstřikovací formy



Obr. č. 19 Vstřikovací cyklus [17]

#### 4.1.1 Dávkování

Dávkováním rozumíme optimálně zvolené množství materiálu pro budoucí vstřikovací cyklus. Objem dávky je dán čistým objemem všech dutin ve formě s navýšením o objem materiálového polštáře ve válci vstřikovacího stroje před čelem šneku v jeho přední poloze na konci vstřikovací fáze. Navýšení čistého objemu činí zhruba 5 až 10 %.

#### 4.1.2 Plastikace materiálu

Plastikace se provádí z důvodu natavení požadovaného polymerního materiálu, který bývá většinou ve formě granulí nebo prášku, na homogenní taveninu plastu a shromažďuje se v prostoru před čelem šneku, odkud se homogenizovaný materiál vpravuje do vstřikovací



formy. Plastikace se provádí v tavicí komoře vstřikovacího stroje, kde je uložen otáčející se a současně zpět posunující se šnek. Tím, že šnek je v pohybu vzad se snižuje účinná délka šneku (styk granulátu se šnekem). Tato skutečnost se kompenzuje pomocí zvyšování zpětného tlaku.

Podle typu zvoleného materiálu se volí i teplota tavení od 180 °C až do 270 °C. Teplo se získává ze dvou třetin z tření hmoty při hnětení (otáčení šneku) a z jedné třetiny elektrickým odporovým topením (převodem tepla ze stěn tavného válce). Teplota taveniny je velmi důležitý činitel, který přímo ovlivňuje homogenitu materiálu, proto se teplota taveniny reguluje automaticky. Automatická regulace je dnes běžnou výbavou vstřikovacích strojů.

Základním předpokladem k rovnoměrnému naplnění tvarové dutiny formy je dobře homogenizovaný materiál. Naopak nehomogenita materiálu negativně ovlivňuje plnicí fázi, což se projeví jak na kvalitě povrchu (tokové čáry, lesk, studené spoje), tak na rozložení orientace a pnutí.

Činitele ovlivňující homogenitu materiálu:

- konstrukce šneku
- otáčky šneku
- zpětný tlak
- vstřikovaná dávka

#### **4.1.3 Vstřikování taveniny plastu do formy**

Parametry ovlivňující vstřikování:

- teplota taveniny
- vstřikovací tlak
- vstřikovací rychlost
- teplota formy

Vstřikování taveniny plastu do formy lze rozdělit na dvě části:

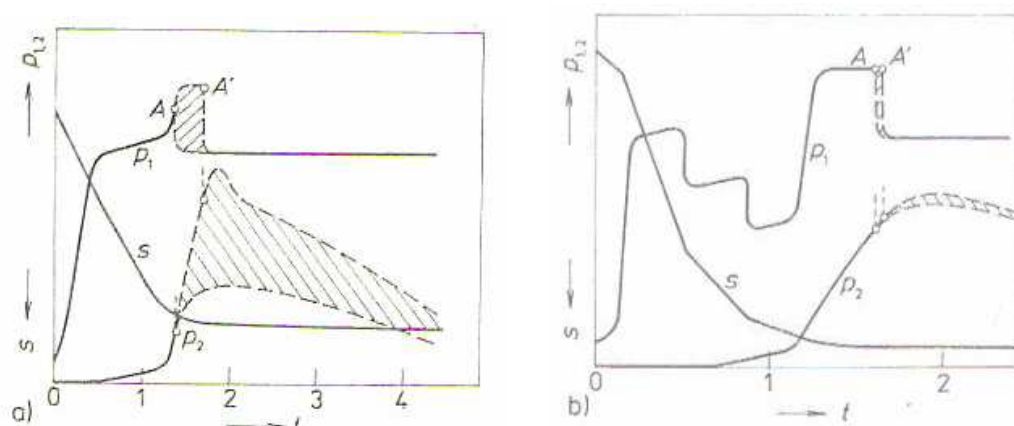
##### **➤ Plnění formy**

Dochází ke vstříknutí taveniny plastu do prázdné uzavřené formy axiálním posunem šneku o dané vstřikovací rychlosti. Šnek se při plnění neotáčí, ale posouvá se vpřed jako píst a tlačí taveninu do trysky. Vstřikovací rychlost při plnění formy může ovlivnit hmotu, a to jak příznivě tak i negativně. Čím vyšší je vstřikovací rychlost, tím více ovlivňuje orientaci makromolekul. Po překročení určité hranice, ale může dojít i k degradaci hmoty. Při vstřiku natavené hmoty do rozváděcích kanálů formy v důsledku rozdílných teplot (teplota formy je až 4 krát nižší) tavenina na stěně kanálu tuhne a vytváří tím tepelnou izolaci kanálů. Uvnitř kanálu vzniká potom plastické jádro o nízké viskozitě, umožňující další průtok taveniny plastu do dutiny formy. Rychlost čela proudu taveniny ve formě má, pokud možno, být konstantní, čímž se docílí rovnoměrného a optimálního proudění taveniny s minimálními hydraulickými ztrátami.

Rychlost posuvu šneku se liší podle tvarové složitosti výstřiku. U jednoduchého výstřiku s konstantní tloušťkou stěny požadujeme konstantní pohyb šneku vpřed. Naopak u tvarově složitějších výstřiků účelně měníme rychlost posuvu šneku vpřed, a tím docílíme přibližně stejnou rychlost proudu taveniny. Na začátku vstřikování má rychlost taveniny plynule stoupat, tím zamezíme vzniku vnitřního pnutí a viditelné tokové čáry. Kolem větších jader je lepší rychlost proudění zvýšit, tím omezíme vznik studených spojů. Ke konci procesu vstřikování se doporučuje zpomalit vstřikovací rychlost, což umožní uniknout vzduch z formy a zabrání se tak nadměrným tlakovým špičkám.

Regulovaný průběh vstřikovací rychlosti u tvarově složitějších výstřiků lze docílit pomocí programovatelných strojů s optimalizací vstřikovacího procesu. Tyto stroje lze naprogramovat tak, aby maximálně vyhovovaly konkrétnímu výrobku. Z obrázku č. 20 je vidět rozdíl mezi posuvem šneku u konvenčního a moderního programovatelného stroje.

Při plnění dutiny formy převážně u tvarově složitějších výstřiků dochází k rychlým změnám teploty, tlaku a viskozity taveniny. To má za následek nehomogenitu a nerovnoměrnost struktury, orientaci, vnitřní pnutí atd. Tyto problémy lze eliminovat vhodným tvarem součásti, popřípadě úpravou výstřiku z hlediska proudění taveniny.



**Obr. č. 20 Průběh tlaku při vstřikování termoplastů [16]**

a) u konvenčních strojů

b) u moderních vstřikovacích strojů s optimalizací procesu

$p_1$ ...tlak hydraulické kapaliny posouvající šnek při vstřiku

$p_2$ ...tlak taveniny ve formě

$S$ ...dráha posuvu šneku vpřed při vstřiku

$t$ ...čas

$A - A'$ ...rozptyl okamžiku přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak v jednotlivých cyklech (odpovídající rozptyl průběhu tlaku  $p_1$ ,  $p_2$  je značen šrafováním); dotlak je zachycen jen ve svém počáteční fázi

#### ➤ Stlačení taveniny ve formě

Po naplnění formy taveninou nastává stlačení, kdy vstřikovací rychlost poklesne a prudce naroste tlak jak ve formě (tvářecí tlak) tak i v hydraulice vstřikovacího stroje

(vstřikovací tlak). Tento tlak se pohybuje v závislosti na materiálu v hodnotách 60 až 150 MPa.

Pokud by tlak v hydraulickém válci ovládající posuv šneku zůstal na vstřikovacím tlaku, vznikla by tzv. tlaková špička. Ta může způsobit zvýšenou hmotnost a zvětšené rozměry výstřiku a namáhání formy (riziko pružného ohnutí). Prohnutí formy může mít za následek přeplnění formy taveninou, což negativně ovlivní vlastnosti hotového výstřiku (tahové vnitřní pnutí v povrchových vrstvách, otřep v dělicí rovině formy). Naopak při náhlém poklesu tlakové špičky nastane zpětný tok (tok chladnoucí taveniny z formy ke vstřikovací trysce), což má za následek zvýšenou orientaci makromolekul v okolí toku, hmotnost a rozměry výstřiku jsou pak menší, případně může být výstřik neúplný (nedostříknutý).

Pokud v určitém okamžiku před dosažením tlakového maxima ve formě snížíme vstřikovací tlak na dotlak, odstraníme tím nežádoucí vlivy tlakové špičky.

U konvenčních vstřikovacích strojů se v závislosti na posuvu šneku prostřednictvím mechanicky ovládaných koncových spínačů přepíná vstřikovací tlak na dotlak, což bývá často dosti nepřesné. Předčasné přepnutí dotlaku vede k poklesu tlaku ve formě (obr. č. 20 - a bod A). Naopak opožděné přepnutí dotlaku má za následek příliš vysoký tlak ve formě (obr. č. 20 bod A'). Obě tyto skutečnosti vedou k defektům výstřiku, které jsou zmiňovány výše.

Moderní vstřikovací stroje mají zabudovaný systém přesného přepínání vstřikovacího tlaku na dotlak. Pracují na principu odvození posuvu šneku pomocí bezkontaktních spínačů, nebo od tlaku taveniny ve formě (obr. č. 20 - b). Druhá možnost je velice přesná, vyžaduje ovšem umístění drahých tlakových spínačů do formy.

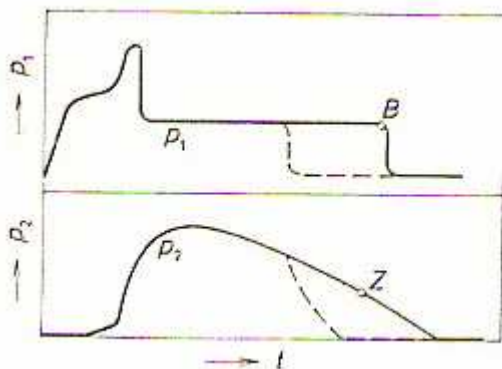
#### **4.1.4 Dotlak**

Nastává po stlačení hmoty ve formě. Účelem je dotlačovat další taveninu do formy, a tím nahradit úbytek objemu, který je způsoben smrštěním materiálu. Dotlak se překrývá s fází chladnutí a má velký vliv na strukturu výrobku. Vyšší dotlak způsobí větší rozměry výstřiku a vyšší stupeň orientace makromolekul v určitých partiích. Je to dáno poměrně velkou viskozitou taveniny.

Velikost dotlaku odpovídá průběhu smršťování hmoty ve formě. Doba dotlaku je odvislá od ztuhnutí ústí vtoku, jimž se dotlačuje tavenina do formy. Ukončení dotlaku je znázorněno na (obr. č. 21 bodem B). U tlustostěnných částí výstřiků může předčasné ukončení dotlaku (před ztuhnutím vtoku) způsobit propadliny nebo dutiny a nastane zpětný tok taveniny z formy k trysce. Naopak prodlužování dotlaku za hranici ztuhnutí vtoku je bezpředmětné a prodlužuje pracovní cyklus.

U konvenčních strojů má dotlak jednu úroveň tlaku. Tlak taveniny ve formě plynule klesá z důvodu rostoucí viskozity taveniny a jejímu zhoršenému přenosu tlaku do formy (obr. č. 20 - a). Jako poslední se při dotlaku plní vysoce viskózní taveninou ústí vtoku. Následkem je vysoký stupeň orientace a sklon k pozdějšímu praskání.

U strojů s optimalizací procesu se průběh dotlaku během pracovního cyklu programuje. Na začátku bývá dotlak vyšší, což způsobí rychlejší naplnění dutiny formy. Ke konci se dotlak sníží a omezí se tím orientace v okolí vtoku. Dotlak a jeho snižování se programují ve dvou nebo více stupních v závislosti na podmínkách konkrétního výstřiku. Po skončení dotlaku se tlak v hydraulice šneku sníží na hodnotu zpětného tlaku a nastává opět proces plastikace.



Popis

$p_1$ ,  $p_2$ ,  $t$ ...viz obr. č. 20 - b

B...okamžik ukončení dotlaku, pokles na zpětný tlak

Z...okamžik ztuhnutí vtoku (konec možnosti dotlačování taveniny do formy)

----- průběh tlaků při předčasném ukončení dotlaku

**Obr. č. 21 Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů [16]**

#### 4.1.5 Chladnutí hmoty ve formě

Proces chladnutí nastává již během vstřikovací fáze a dále pak pokračuje i během dotlaku. Dochází zde ke značným časovým i místním změnám stavových veličin polymeru, tlaku ( $p$ ), měrného objemu ( $v$ ) a teploty ( $T$ ). Tyto stavové veličiny mají v různých místech výstřiku odlišný průběh. Je to dáno především tvarem výrobku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem a dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny a teplotním polem formy. Stavové veličiny a jejich změny ovlivňují vznik struktury a její odlišnosti, hmotnost a rozměry výstřiku.

Při procesu vstřikování dochází k rychlým změnám tlaku, měrného objemu a teploty, kterým se nelze vyhnout, což má za následek nehomogenitu a nerovnovážnost struktury výstřiku. Tyto rychlé změny se snažíme korigovat do určitých mezí v každém cyklu. Zajistí nám to přibližně stejnou kvalitu výstřiku v každém vstřikovacím cyklu.

Fáze chladnutí ovlivňuje krystalizaci, vnitřní pnutí, ale především kvalitu povrchu (lesk). Lesk závisí na teplotě formy, na drsnosti stěny formy, na tekutosti taveniny a na její schopnosti přesně obtisknout všechny detaily v dutině formy. U některých typů semikrystalů se lesk zvýší snížením teploty formy, což potlačí krystalizaci povrchové vrstvy a ta se stane amorfní. Vzhledové nedostatky výstřiku (tokové čáry, povrchové propadliny, šupinatý povrch atd.) jsou zapříčiněny nevhodnými technologickými podmínkami, nevhodným řešením tvaru výrobku či nevhodným typem a umístěním vtoku.

Doba chlazení určuje v podstatě délku doby vstřikovacího cyklu a tedy i nemalou část ekonomického hlediska procesu vstřikování.

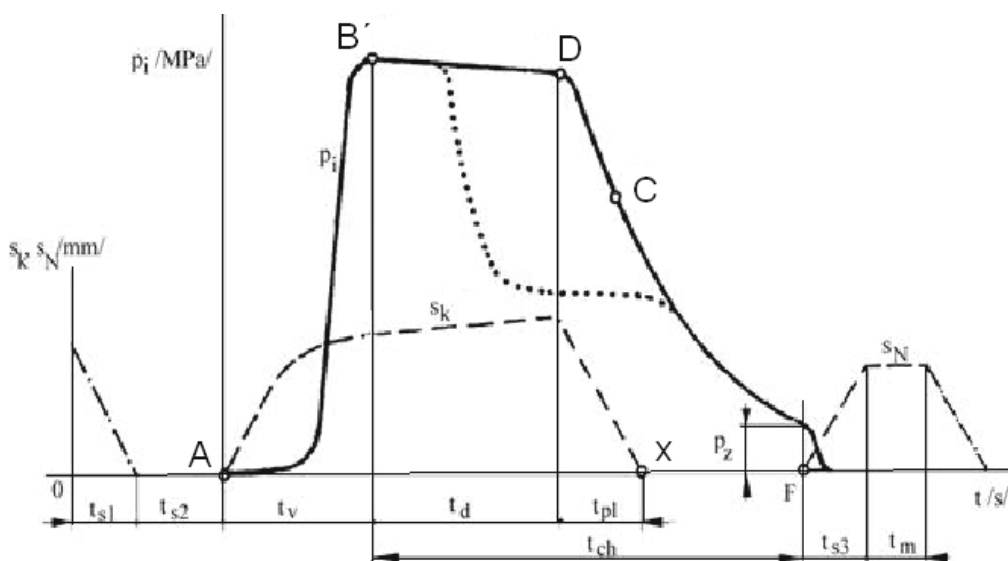
#### 4.1.6 Vyjmutí výstřiku z formy

Výstřik ochlazený na teplotu odformování je během otevírání formy vyjmut. Vyhazuje se z tvarové dutiny formy mechanickým zařízením (vyhazovačem nebo stlačeným vzduchem). Více v kapitole 4.5.2 konstrukce vstřikovací formy.

## 4.2 Tlakový diagram [26]

Pomocí tlakového diagramu lze popsat a pochopit celý proces vstřikování. Tlakový diagram je znázorněn na obrázku č. 22. Při předpokladu otevřené prázdné formy v čase  $t_0$  dostane stroj impuls k zahájení procesu vstřikování. V časovém období  $t_{s1}$  se pohyblivá část formy přisune k pevné a uzamkne se. V úseku  $t_{s2}$  se k formě přisouvá tavicí komora stroje. V bodě A nastává vlastní proces vstřikování, kdy šnek se dává do pohybu a vtlačuje taveninu do dutiny formy po dobu plnění  $t_v$ . Po naplnění formy a stlačení taveniny dosáhne tlak v dutině maximální hodnoty v bodě B' a děj se ukončí. Při vniknutí taveniny do dutiny formy, nastává v důsledku rozdílných teplot taveniny a dutiny formy k chladnutí výstřiku (doba chlazení  $t_{ch}$ ). Doba chlazení trvá až do vyjmutí výstřiku z formy. Během chlazení se výstřik smršťuje a zmenšuje svůj objem. To se kompenzuje tzv. dotlakem, po dobu dotlaku  $t_d$ , který je už popsán výše v této práci. V bodě D končí doba dotlaku a začíná plastikace nové dávky materiálu v časovém úseku  $t_{pl}$ . Plastikace končí v bodě E. Bod C je důležitý z hlediska ovlivňování tlaků v dutině formy. Značí totiž ztuhnutí plastikované hmoty v dutině vtokového kanálu, což způsobí konec dotlaku a body C a D splynou v jediný. Zbytkový tlak  $p_z$  je tlak, který je v dutině formy těsně před otevřením formy. Vysoký zbytkový tlak je příčinou velkého pnutí výstřiku. Pnutí lze korigovat buď kratší dobou dotlaku nebo regulovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém ztuhnutí výstřiku (značí bod F) se forma otevře a výstřik je vyhozen za dobu  $t_{s3}$ . Pokud je použit k vyjmutí výstřiku manipulátor přičítá se manipulační doba  $t_m$ . Pak se celý proces opakuje.

Kromě strojních dob ( $t_{s1}$ ,  $t_{s2}$ ,  $t_{s3}$ ), které jsou součástí vstřikovacího cyklu, jsou další strojní doby překryty dobou chlazení. Je to doba na odsunutí tavicí komory  $t_k$ , což zabrání ztuhnutí natavené hmoty v trysce vstřikovacího stroje v důsledku rozdílných teplot vyhřívané trysky a studené formy a doby prodlevy komory v odsunuté poloze  $t_{kp}$ . V této pozici komora zůstává až do opětovného zavření formy tedy do skončení doby  $t_{s1}$ , kdy je přisunuta k formě.



**Obr. č. 22 Průběh vnitřního tlaku  $p_i$  v dutině formy během procesu vstřikování [17]**

$s_k$  – pohyb šneku,  $s_N$  – pohyb nástroje

### 4.3 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku [12], [17]

Kvalitu výstřiku z hlediska mechanického či fyzikálního ovlivňuje volba vstřikovacího stroje, druh použitého plastu, zvolená konstrukce formy a technologické parametry vstřikovacího procesu.

**Z hlediska volby druhu použitého plastu** má na vlastnosti výstřiku vliv:

- rychlost plastikace polymeru (měla by být co nejkratší)
- tekutost plastu (má být dostatečná a nesmí se měnit s teplotou příliš rychle, je závislá na technologických parametrech)
- dostatečná tepelná stabilita plastu (měla by být co nejširší a v rozsahu zpracovatelských teplot)
- uvolňování těkavých látek
- velikost vnitřního pnutí (požadavek je co nejmenší)
- smrštění plastů (je ovlivněno technologickými podmínkami)

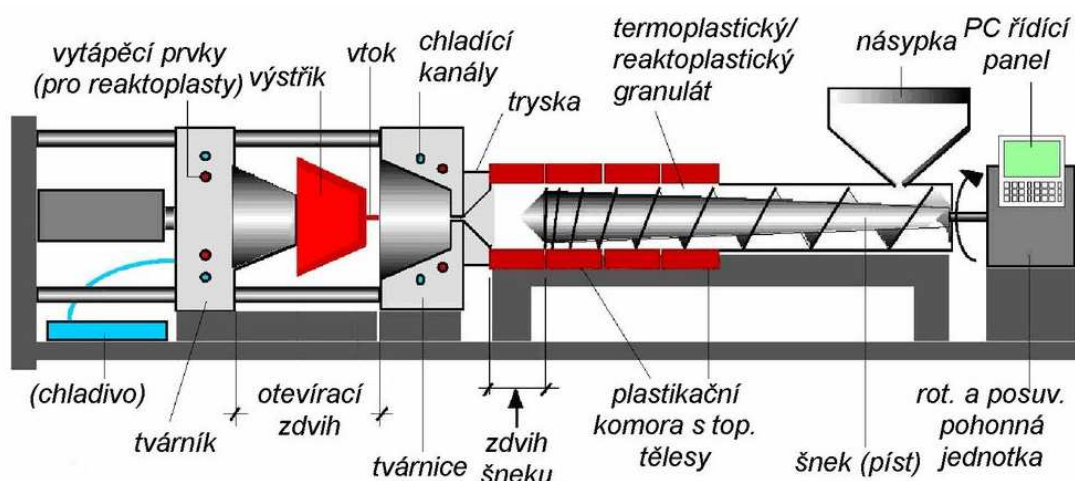
**Z hlediska technologických parametrů:**

- vstřikovací tlak (ovlivňuje rychlost plnění formy, vnitřní pnutí, uzavírací sílu, smrštění atd.)
- teplota taveniny (závisí na druhu plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení, smrštění, dotlak atd.)
- teplota formy (z technologického hlediska má být co nejvyšší a opět závisí na druhu použitého plastu a charakteru výroby, ovlivňuje tekutost, rychlost plnění, vzhled výrobku, teplotu taveniny, smrštění, dotlak, vnitřní pnutí atd.)
- rychlost plnění formy (snaha o co nejrychlejší plnění, ale nutnost kontroly teploty taveniny z důvodů možné degradace hmoty- orientace makromolekul)

- výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje hlavně rozměry výrobku- smrštění a vnitřní pnutí)

#### 4.4 Vstřikovací stroje plastů [8], [12], [17]

Proces vstřikování je dnes plně automatizován a provádí se na moderních strojích. Tato skutečnost nám zaručuje společně s optimální volbou vstřikovacích podmínek vysokou produktivitu práce. Technologie vstřikování je vhodná pro velkosériovou výrobu z důvodu vysokých pořizovacích nákladů na vstřikovací stroj, popřípadě formu. Vstřikovací stroj (obr. č. 23) se skládá ze vstřikovací a plastikační jednotky, uzavírací jednotky, řízení a regulace. Základními parametry vstřikovacího stroje jsou přidržovací síla, vstřikovací a plastikační kapacita a prostor pro upínání formy.



Obr. č. 23 Schéma vstřikovacího stroje [17]

##### Vstřikovací a plastikační jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je dávkování granulátu, jeho přeměna na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstříknutí této taveniny do formy velkou rychlostí pod velkým tlakem. Tlak a rychlost se reguluje tlakem a množstvím přiváděné hydraulické kapaliny do hydraulického systému ovládání vstřikovací jednotky. Vstřikovací jednotky jsou dvojího typu – pístové (dnes se prakticky nepoužívá) a šnekové.

##### Výhoda šnekových strojů:

- spolehlivá plastikace a homogenizace materiálu
- nepřehřívá se materiál v tavící komoře
- vysoký plastikací výkon a velký zdvihový objem
- snadné čištění komory při výměně materiálu
- přesné dávkování

- nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu
- nižší topný příkon vytápění
- kratší výrobní cyklus

### **Uzavírací jednotka**

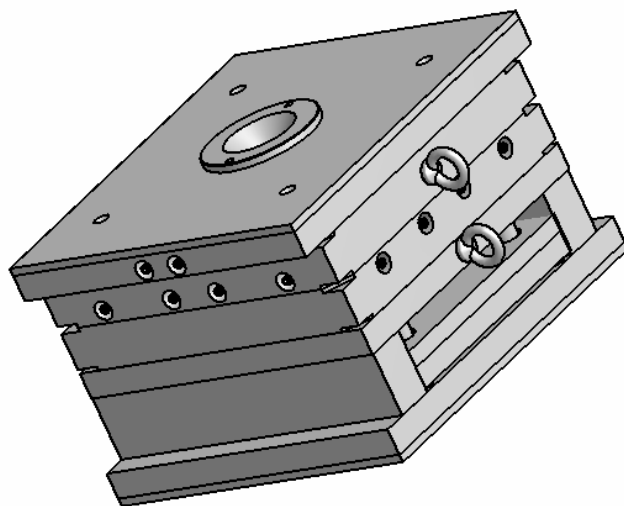
Podle průběhu vstřikovacího procesu uzavírací jednotka otevírá či uzavírá formu nebo vyhazuje ztuhlý výstřik z formy. Jednotka musí formu uzavírat takovou silou, aby se při plnění dutiny neotevřela. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje je ovládána mechanicky, hydraulicky nebo kombinovaně, v poslední době i elektricky.

### **Řízení a regulace**

Řídící a regulační jednotka zabezpečuje celý proces vstřikování. Dodržuje nastavení technologických parametrů jako je teplota vstřikované hmoty, vstřikovací tlak a rychlost, teplota formy a časové rozdělení vstřikovacího cyklu.

## **4.5 Vstřikovací formy [8], [9], [12], [17], [26]**

Vstřikovací forma (obr. č. 24) je po plastikační jednotce druhou nejdůležitější částí vstřikovacího stroje. Jejím úkolem je dát tavenině plastu námi požadovaný tvar a zachovat ho až do ztuhnutí. Forma po celou dobu své životnosti musí produkovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí hotového výrobku, pracovat automaticky, musí odolávat vysokým tlakům. Z těchto skutečností vyplývá, že výroba formy je finančně i časově náročná.



**Obr. č. 24 Vstřikovací forma**

Při výrobě forem se používají kvalitní nástrojové oceli, které jsou většinou tepelně zpracovány. Vhodně zvolená konstrukce formy může výrazně ovlivnit ekonomiku celé výroby. V současné době je na trhu řada specializovaných firem dodávajících na trh normované díly vstřikovací formy, které se pak pouze upraví pro potřebu zákazníka. Jedná se především o dokončovací operace obráběním (soustružení, frézování, vrtání, broušení, elektroerozivní obrábění, lapování atd.).



Materiály používané na výrobu vstřikovacích forem se volí podle druhu zpracovávaného plastu, technologie výroby, tvaru výrobku (složitost, velikost), tepelné odolnosti, odolnosti proti opotřebení atd.

#### **4.5.1 Rozdělení vstřikovacích forem [12]**

##### **Podle typu vstřikovacího stroje**

- se vstřikováním do osy
- se vstřikováním do dělicí roviny formy

##### **Podle počtu tvarových dutin**

- jednonásobné
- vícenásobné

##### **Podle uspořádání vtoku**

- dvoudeskové jednoduché
- třídeskové s odtrhovacím vtokem
- s horkým vtokem (u bezezbytkového vstřikování)
- s izolovanými vtokovými kanály
- s vyhřívanými vtokovými kanály

##### **Podle konstrukce**

- jednoduché
- čelistové
- s výsuvnými jádry
- vyšroubovaní
- etážové

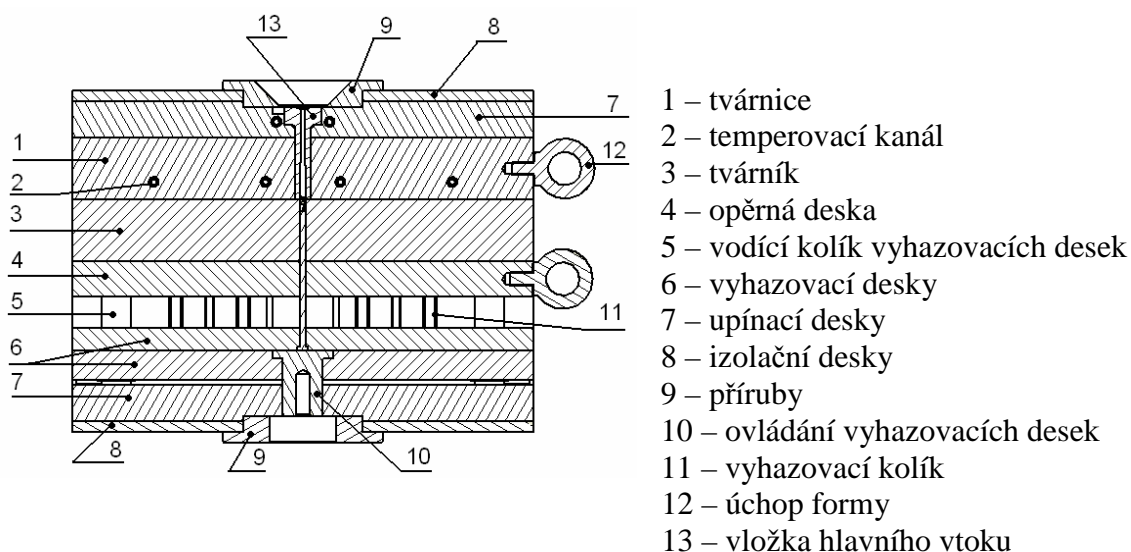
##### **Podle zpracování materiálu**

- pro termoplasty
- pro reaktoplasty
- pro elastomery

#### **4.5.2 Konstrukce vstřikovací formy [9], [12], [17], [26]**

Návrh a konstrukce rozváděcí soustavy homogenizovaného materiálu při navrhování vstřikovací formy je jeden z nejdůležitějších úkolů konstruktéra. Vstřikovací forma se skládá

z mnoha součástí, které při výrobě požadované součásti musí vzájemně plnit spolehlivě svou funkci. Základní části vstřikovací formy jsou zobrazeny na obrázku č. 25.



**Obr. č. 25 Základní části vstřikovací formy**

### Vtoková soustava

Vtoková soustava je tvořena jedním nebo více kanály, které spojují otvor v trysce plastikačního válce vstřikovacího stroje a tvarovou dutinou formy. Tvoří jí hlavní vtokový kanál, rozváděcí kanál a ústí vtoku. Soustava má zajistit zejména rovnoměrné naplnění dutiny formy, dále pak snadné odtržení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Při konstrukci vtokové soustavy bereme na zřetel následující faktory:

- počet tvarových dutin
- rozmístění tvarových dutin
- volba typu systému (studený nebo horký rozvod – bez vtokového zbytku)
- snadné vyjímání výstřiku z formy
- omezení vtokové soustavy na minimum
- snadné opracování a začištění výstřiku

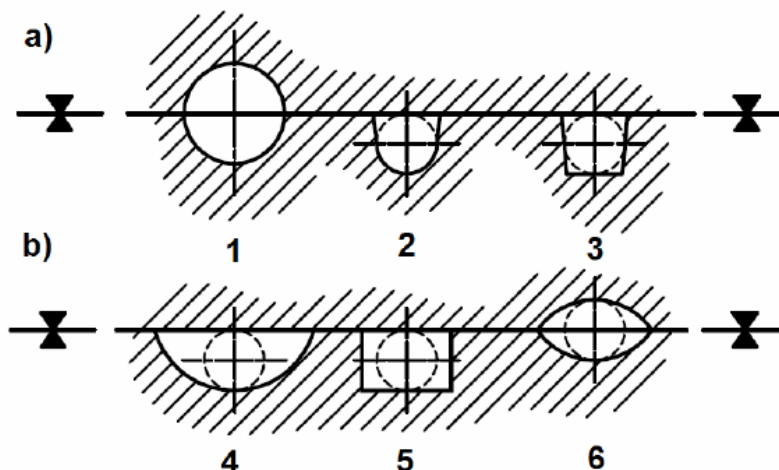
Typ a umístění vtokového kanálu má podstatný vliv na kvalitu výstřiku i celého vstřikovacího cyklu. Musí zajistit naplnění dutiny nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a nejlépe všude ve stejném čase. Tyto požadavky platí i pro vícenásobné formy.

Volba tvaru průřezu rozváděcího kanálu by měla být taková, aby kontaktní plocha mezi taveninou a stěnou kanálu byla co nejmenší a přitom měla co největší průřez (kruh). Průřez kanálu závisí na tloušťce stěny výstřiku, objemu výstřiku, tokové dráze taveniny, teplotě formy a na použitém plastu. Možnosti tvaru průřezu rozváděcích kanálů jsou znázorněny na obrázku č. 26.

Vtok bychom neměli umisťovat na pohledovou stěnu výstřiku, nebo tam, kde by to bylo z funkčního hlediska nevhodné. Nejvhodnější umístění vtoku je v geometrickém středu výstřiku z důvodu rovnoměrného zatékání materiálu do tvarových dutin. U dlouhých výstřiků je třeba umístit vtok do užší strany výstřiku.

Všechny tyto skutečnosti nám mohou usnadnit konstrukci a optimalizaci rozváděcích kanálů, ale vždy záleží na zkušenosti konstruktéra. Správnou funkčnost rozváděcího systému ověříme až při odzkoušení zkušební vzorku. Pokud neodpovídá požadované kvalitě, pak jsou rozměry kanálů dodatečně upraveny.

Ke zjištění správného proudění polymeru v kanálech i k zjištění optimálního plnění dutiny formy se v dnešní době využívá různých simulačních programů, které nám umožní urychlit výrobu formy a šetří velkou část nákladů.



**Obr. č. 26 Průřez rozváděcích kanálů [26]**

a) funkčně výhodné

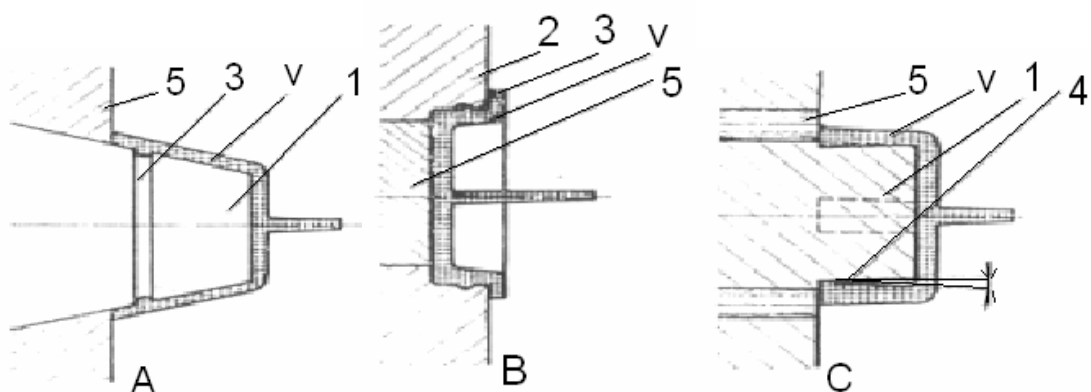
1,6 výrobně nevýhodné

b) funkčně nevýhodné

2,3,4,5 výrobně výhodné

### **Vyhazovací systém**

Úkolem vyhazovacího systému je dokonalé (bez poškození výrobku) vyhození výstřiku a vtokového zbytku z formy. Tento proces přispívá k automatizaci celého vstřikovacího cyklu. Tvar a typ vyhazovače se volí podle tvaru hotového výrobku. Vyhazovače se prakticky u každé formy konstruují do pohyblivé části. Z tohoto důvodu je nutné zajistit, aby výstřik zůstal po otevření formy v pohyblivé části. Většinou postačí k přidržení síla vyvolaná smrštěním plastu při tuhnutí. To nám zajistí ulpění výstřiku na tvárníku (pohyblivé části formy). Pokud nestačí síla vyvolaná smrštěním, volíme způsob zajištění pomocí zápichů, drážek, výstupků (obr. č. 27). Touto úpravou ovšem nesmí dojít k poškození výstřiku. U vtokového zbytku se vyhazovací systém umísťuje do té části formy, kde zůstává daný zbytek (obr. č. 28). Vyhazování výstřiku se provádí mechanicky nebo pneumaticky pomocí vzduchu.



**Obr. č. 27 Technologické úpravy tvárníků [9]**

**A** – technologický zápich v tvárníku

**B** – technologický zápich v tvárnici

**C** – plošky se záporným úhlem v tvárníku

1 – tvárník

2 – tvárnice

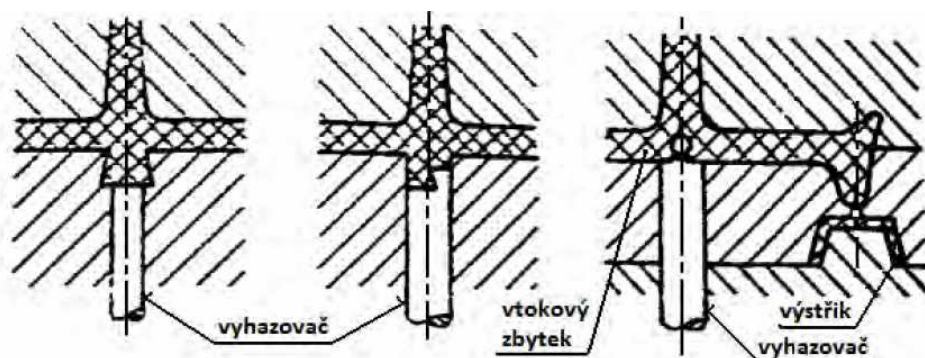
3 – zápich

v – výstřik

4 – ploška

5 – stírací deska

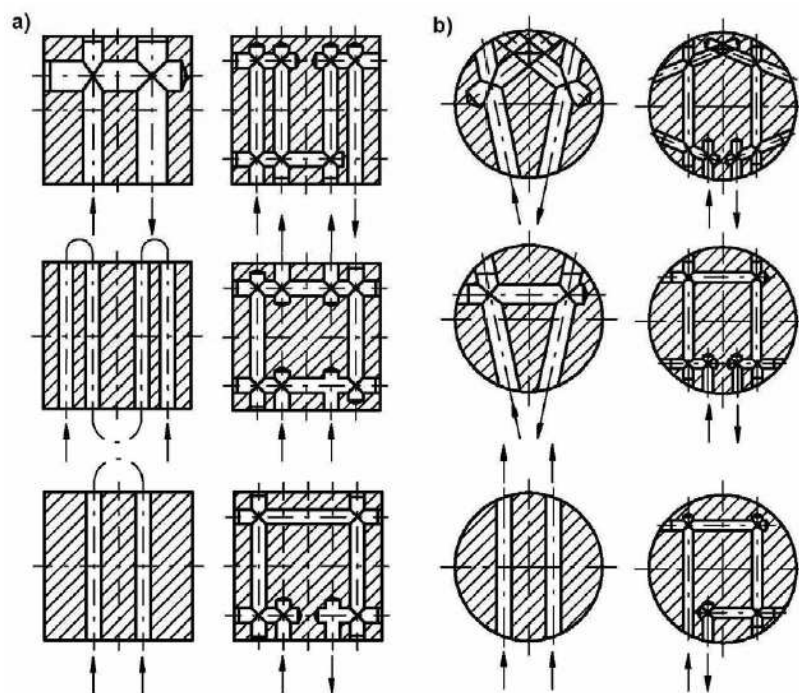
6 – vyhazovač



**Obr. č. 28 Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku [26]**

## Temperační soustava

Temperace slouží k udržení konstantního teplotního režimu formy. Pomocí temperovacích okruhů můžeme formu zahřívat i chladit podle potřeby vstřikovacího cyklu. Temperace forem má bezprostřední vliv na kvalitu výstřiku (smrštění, jakost povrchu, mechanické vlastnosti a zaplňování dutiny formy). Při návrhu temperačního systému bereme v potaz druh vstřikovaného materiálu (jeho teplotní vodivost, vstřikovací teplotu atd.), velikost a tvar výstřiku případně dráhu toku a tloušťku stěn výstřiku, požadavky na přesnost výstřiku a v neposlední řadě materiál formy a jeho termomechanické vlastnosti. Cílem konstruktéra při návrhu temperovacího systému je docílit co nejstejnějšího přestupu tepla mezi stěnami tvářecích dutin a temperovací kapalinou. Příklady konstrukčního řešení temperovacích kanálů je znázorněn na obrázku č. 29.



**Obr. č. 29 Příklady konstrukčního řešení temperačního okruhu [26]**

a) hranaté desky,

b) kruhové desky

### **Odvzdušňovací systém**

Je další nedílnou součástí při konstrukci formy. Jeho konstrukce má vliv na kvalitu hotového výstřiku. Pokud je odvzdušnění formy nedostatečné, může vyvolat tzv. místní spálení (diesel efekt) polymeru, propadliny na výstřiku, popřípadě nedostříknutí polymeru. Odvzdušňování je intenzivní odvod vzduchu (plynu) z tvarové dutiny formy. Provádí se netěsnostmi formy a především odvzdušňovacími kanály, které bývají většinou 0,02 až 0,05 mm tlusté. Příliš rozměrné kanály mohou způsobovat i negativní vlivy (zdroj ztrát polymeru). Z uvedeného vyplývá, že musíme dbát na celkovou optimalizaci odvzdušňovacích kanálů, aby splňovaly dobře a přesně svoji funkci.

Odvzdušnění se provádí většinou na dělicí rovině na protilehlém místě vtoku, ale mohou ho zajišťovat i vyhazovací kolíky, které se zploští (broušením) a vzniklá vůle pak umožní unikání vzduchu. Faktory ovlivňující odvzdušnění formy: umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek atd.

## 5 VÝBĚR MATERIÁLU A ZAFORMOVÁNÍ DÍLCE

### 5.1 Materiál výstřiku [25], [26]

Volba materiálu výstřiku je posuzována z hlediska funkčního, technologického a ekonomického. Na výstřik byl použit materiál z polypropylenu (PP), dodávaný společností SLOVNAFT a.s. pod obchodním názvem Tipplen H916A viz materiálový list, příloha č. 1.

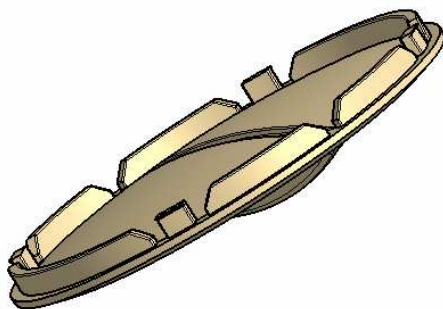
Tento materiál byl volen z důvodu jeho vlastností a s ohledem na nízké zatěžování výstřiku (krytky). Materiál se vyznačuje krátkými vstřikovacími časy a dobrou zatékavostí.

Výrobce dodává materiál ve formě granulátu ve žlutohnědé barvě. Granulát je přepravován na paletách o nosnosti 1375 kilogramů ve 25 kilogramových pytlích. Materiál není nutno sušit. Více informací o materiálu viz tabulka 1.

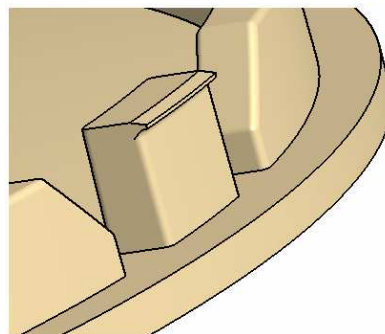
**Tabulka č. 1 Vlastnosti polypropylenu a z něho plynoucí parametry vstřikování**

Hustota:	$\rho = 0,94 \text{ g/cm}^3$
Smrštění:	$s_m = 2 \%$
Viskozita:	$\eta = 90 \text{ Pa.s}$
Efektivní tepelná vodivost:	$a_{\text{eff}} = 0,065 \text{ mm}^2/\text{g}$
Absorpce vlhkosti:	$< 0,1 \%$ (nenavlhá)
Teplota taveniny:	$T_M = 260 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota formy:	$T_W = 55 \text{ }^\circ\text{C}$
Střední teplota odformování:	$T_E = 70 \text{ }^\circ\text{C}$
Vstřikovací tlak:	$p_v = 120 \text{ MPa}$
Dotlak:	$p_d = 75 \text{ MPa}$
Zpětný tlak:	$p_z = 12 \text{ MPa}$

Pro zaformování požadovaného dílce (obr. č. 30) bylo použito dvou tvarových vložek, které určují tvarovou dutinu formy. Použití vložek není ideální pro tvarovou přesnost dílce, přesto jsou zde použity z důvodu vyrobitelnosti integrálních háčků (obr. č. 31).



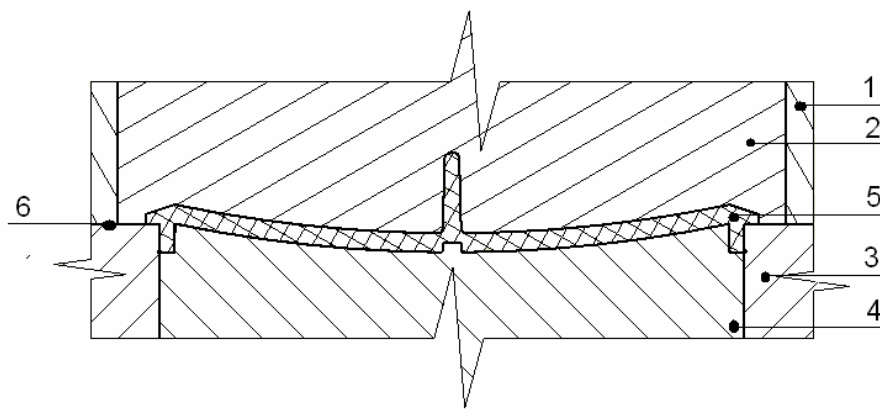
**Obr. č. 30 Krytka do stolu**



**Obr. č. 31 Detail integrálního háčku**

## 5.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina je umístěna do hrany výstřiku viz obr. č. 32. Tímto umístěním se vyhneme pohledovým plochám, čímž eliminujeme možnost vzniku pohledových defektů. Dílec je umístěn ve tvarové dutině tak, aby při odformování zůstal na straně vyhazovačů (v tvárníku). To umožní snadné vyjmutí dílce z formy beze stop po vyhazovačích na pohledové straně. Setrvání výstřiku na straně vyhazovače zajistí i integrální háčky.



**Obr. č. 32 Umístění dělicí roviny**

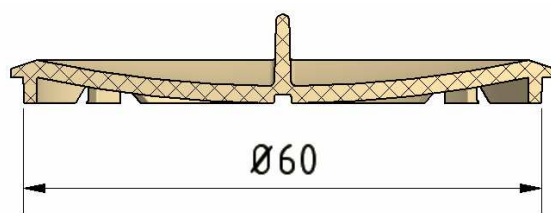
- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 – tvárnice                | 4 – tvarová vložka tvárnice |
| 2 – tvarová vložka tvárnice | 5 – výstřik                 |
| 3 – tvárník                 | 6 – dělicí rovina           |

## 5.3 Smrštění dílce [25], [29]

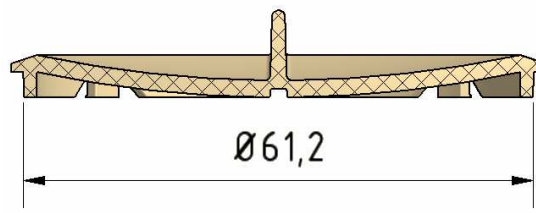
Při vstříknutí a následném tuhnutí taveniny plastu v tvarové dutině formy dochází k rozměrovým změnám výstřiku. Tyto změny nazýváme smrštění a je způsobeno tepelnou roztažností plastů. Při návrhu tvarové dutiny je tedy nutno brát v potaz i toto smrštění a rozměry dutiny zvětšit o přídavek na smrštění. Krytka má jeden funkční rozměr (obr. č. 33), který koresponduje s otvorem ve stole, do kterého bude krytka zacvaknuta pomocí integrálních háčků. Ostatní rozměry nejsou funkčně důležité, proto je smrštění u nich zanedbáno.

Materiál, který byl zvolen na výrobu krytky je Tipplen H916A od společnosti SLOVNAFT a.s. Tipplen H916A má smrštivost 2%, což znamená, že požadovaný funkční rozměr 60mm se vynásobí hodnotou 1,02. Tedy rozměr 60mm je přepočten na hodnotu 61,2mm. Obrázek č. 34 znázorňuje, jak se změní funkční rozměr po přepočítání na uvažovaný přídavek na smrštění. Přídavek na smrštění tedy je 1,2 mm.





Obr. č. 33 Ztuhlá krytka

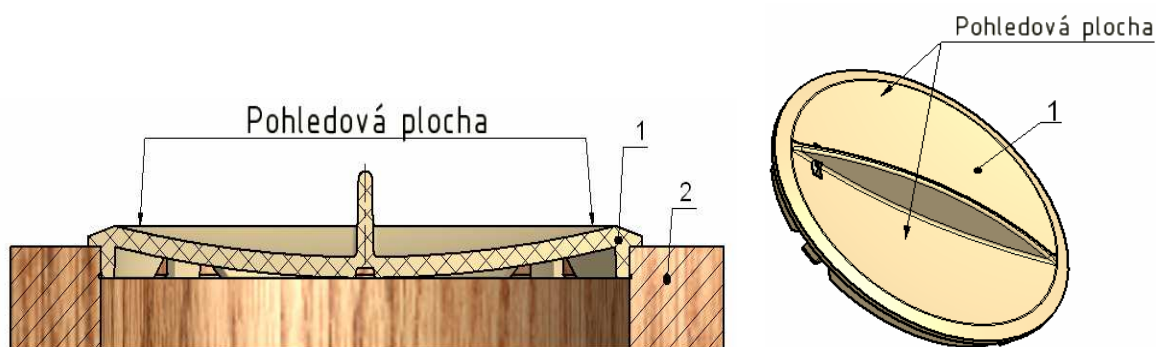


Obr. č. 34 Zahřátá krytka

## 5.4 Povrch dílce [14]

Kritérium kvality a vlastního vzhledu povrchu je nedílnou součástí při konstrukci formy. Obr. č. 35 znázorňuje pohledovou plochu požadovaného dílce. U pohledové plochy je požadován mírný dezén, zbytek dílce je průhledný. Tento dezén neplní pouze funkci estetickou, ale potlačuje i pohledové vady, jako jsou studené spoje popřípadě stopy po toku materiálu. Dezénu docílíme vhodnou metodou obrábění tvarové dutiny formy. Jednou z nejvhodnějších metod je použití elektroerozivního dezénování.

Princip této technologie je v přiblížení nástroje (elektrody), na kterou je přivedeno napětí, a vodivého obrobku. Dojde k výboji a roztavení materiálu obrobku a následném vypláchnutí tohoto roztaveného materiálu. Elektroerozivní hloubicí stroje jsou schopny obrobit plochu tvarové dutiny formy v různých škálách od nejhrubších až po nejhladší ( $Ra\ 0,2$ ) v závislosti na intenzitě elektrického výboje a velikosti obráběné plochy při dobrém výplachu. Právě drsnost povrchu udává intenzitu dezénu. Platí, čím hrubší povrch, tím výraznější je dezén.



Obr. č. 35 Pohledová plocha 1 – výstřík, 2 - stůl

## 5.5 Technologické rádiusy [16]

Ostré hrany jsou na výstřiku nežádoucí. Z tohoto důvodu se na výstřík umísťují technologické rádiusy, které nám zajistí snazší proudění taveniny v dutině formy a lepší



zatékání. Rádusy snižují hydraulické odpory proti průtoku materiálu, čímž se snižuje koncentrace napětí v místě ohybu. Minimální hodnota rádiusu  $R$  se volí ze vztahu (1).

Výpočet minimální hodnoty rádiusu [14]

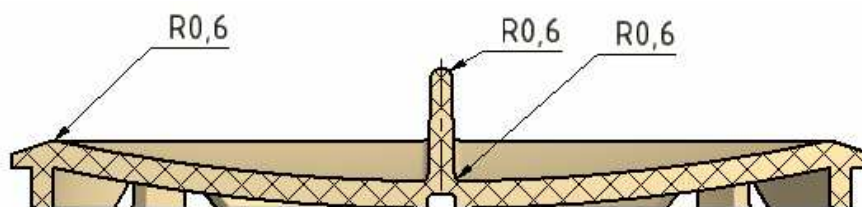
$$R = 0,25 \times s \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

$$R = 0,25 \times 2 \cong 0,5 \text{ mm}$$

Kde  $s$  [mm] ..... tloušťka stěny výstřiku

$R$  [mm] ..... technologický rádius

Vypočtená hodnota je minimální, proto je volen rádius o desetinu vyšší  $R=0,6\text{mm}$  jak znázorňuje obr. č. 36. Příliš malý rádius zaoblení může způsobit deformaci stěny, naopak příliš velký rádius způsobí nežádoucí hromadění materiálu.



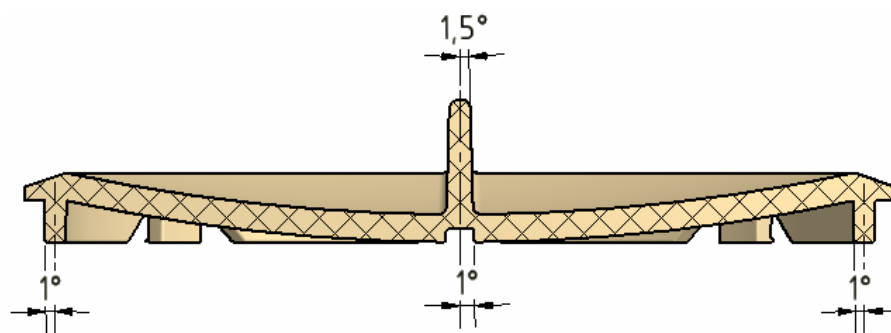
Obr. č. 36 Technologický rádius

## 5.6 Technologické úkosy [16]

V důsledku smrštění (více nahoře v kapitole 5.3) dochází obecně k nalepování výstřiku na stěny tvárníku, v tomto případě vložky tvárníku. Z těchto důvodů se konstruuje technologické úkosy (obr. č. 37). Ty umožňují snadnější vyjmutí výstřiku z dutiny formy, aniž by došlo k jeho poškození (deformaci, ztráty požadovaného dezénu na pohledové ploše atd.) při použití vyhazovačů. Velikost úkosů závisí na hloubce tvaru, tloušťce stěny či dezénu povrchu. U termoplastů by vnitřní úkos měl být větší (min.  $1^\circ$  až  $2^\circ$ ) než vnější (min.  $0,5^\circ$  až  $1^\circ$ ). Je to dáno už zmiňovaným smrštěním.

**Vnější úkos** pod dělicí rovinou byl zvolen  $1^\circ$ , a to z důvodu výskytu integrálního háčku obr. č. 31 viz kapitola zaformování dílce. Úkos na pohledové straně (nad dělicí rovinou) byl zvolen z důvodu požadovaného dezénu  $1,5^\circ$ . Tento úkos zaručí snadné odformování vložky tvárnice od výstřiku a nepoškodí dezén výstřiku.

**Vnitřní úkosy** byly zvoleny minimální tedy  $1^\circ$  z důvodu malé hloubky výstřiku a hladké plochy bez dezénu.



**Obr. č. 37 Technologické úkosy**

## 6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FORMY

### 6.1 Násobnost formy [1], [12], [26]

Násobnost vstřikovací formy je dána vstřikovacím strojem a jeho parametry nebo sériovostí výroby s termínem dodání. V tomto případě je násobnost formy počítána a vztahuje se ke konkrétnímu vstřikovacímu stroji a následně bude zkontrolována výpočtem násobnosti formy pomocí sériovosti a termínem dodání. Pro vstřikovací stroj značky ARBURG Allouder 570 S, se určí pomocí vztahů  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  požadovaná technická násobnost, při platnosti podmínky kde  $n_2 \leq n_1$ , čímž eliminujeme degradaci hmoty v důsledku malého odběru taveniny z plastikační jednotky.

#### Výpočet doby cyklu vstřikování [12]

$t_1 = 1,5$  s ... doba uzavírání formy (zvoleno)  
 $t_2 = 0,6$  s ... doba přesunutí vstřikovací jednotky (zvoleno)  
 $t_v = 0,8$  s ... doba vstřikování z tabulky č. 2  
 $t_{ch} = 15$  s ... doba chlazení ze vzorce  
 $t_3 = 0,6$  s ... doba otevírání formy (zvoleno)  
 $t_4 = 0,9$  s ... doba vyhození výstřiku (zvoleno)  
 $t_5 = 0,6$  s ... doba prodlevy (zvoleno)

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_{ch} + t_3 + t_4 + t_5 \quad [\text{s}] \quad (2)$$
$$t_c = 1,5 + 0,6 + 0,8 + 15 + 0,6 + 0,6 + 0,9 = 20\text{s}$$

#### Výpočet vstřikovacího objemu [12]

$$V_D = n \cdot (V + V_k) + 2až3 \quad [\text{mm}^3] \quad (3)$$
$$V_D = 4 \cdot (7,086 + 4,2516) + 3 = 48,35\text{mm}^3$$

Kde  $V_D$  [ $\text{mm}^3$ ] ..... vstřikovací objem dávky  
 $V_K = 4,2516 \text{ cm}^3$  ... objem hmotového zbytku (výpočet níže)

Polypropylen se řadí mezi středněviskozni materiál, tudíž je voleno z prostředního sloupce z vypočítaného objemu  $\rightarrow$  doba vstřikování  $t_v = 0,8$  s.

**Tabulka č. 2 Doba vstřikování v závislosti na objemu výstřiku a viskozitě materiálů [12]**

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ] přes – do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1 – 8	0,2 – 0,4	0,25 – 0,5	0,3 – 0,6
8- 15	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75
15 – 30	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 – 0,9
<b>30 – 50</b>	0,6 – 0,8	<b>0,75 – 1</b>	0,9 – 1,2
50 – 80	0,8 – 1,2	1 – 1,5	1,2 – 1,8
80 – 120	1,2 – 1,8	1,5 – 2,2	1,8 – 2,7

**Výpočet doby chlazení  $t_{ch}$  [12]**

$$t_{ch} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \quad [s] \quad (4)$$

$$t_{ch} = \frac{2^2}{\pi^2 \cdot 0,065} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{260 - 55}{70 - 55} \right) = 15s$$

Kde  $T_M$ .... Teplota taveniny [<sup>0</sup>C]  
 $T_W$ ... teplota formy [<sup>0</sup>C]  
 $T_E$ .... střední teplota odformování [<sup>0</sup>C]  
 $a_{eff}$  ... měrná tepelná vodivost polypropylenu [mm<sup>2</sup>/g]

**Tabulka č. 3 Parametry stroje potřebné k výpočtu násobnosti formy**

Maximální zdvihový objem	$Q_v = 71 \text{ cm}^3$
Maximální plastikační výkon stroje	$Q_p = 9,5 \text{ kg/h}$
Maximální uzavírací síla stroje	$F = 2,2 \text{ MN}$
Maximální vstřikovací tlak stroje	$p_v = 139 \text{ MPa}$

**Násobnost podle vstřikovací kapacity stroje [26]**

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_K)} \quad [-] \quad (5)$$

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot 71}{(7,086 + 4,2516)} = 5$$

Kde  $V = 7,086 \text{ cm}^3$  ... objem výstřiku měřen software Inventor Professional  
 $V_K$  ... objem hmotového zbytku  $(0,05 \text{ až } 1) \cdot V$  [cm<sup>3</sup>] větší hodnota platí pro malé výstřiky

**Výpočet objemu vtokového zbytku [26]**

$$V_K = (0,05 \text{ až } 1) \cdot V \quad [\text{cm}^3] \quad \text{voleno } 0,7 \quad (6)$$

$$V_K = 0,7 \cdot 7,086 = 4,2516 \text{ cm}^3$$

### Násobnost podle plastikačního výkonu stroje [26]

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V + V_K) \cdot 3600 \cdot \rho} \quad [-] \quad (7)$$
$$n_2 = \frac{9,5 \cdot 20 \cdot 1000}{(7,086 + 4,2516) \cdot 3600 \cdot 0,94} = 4,95$$

Kde  $t_c$  ... celková doba cyklu vstřikování  
 $\rho$  ... hustota polypropylenu [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]

### Ověření podmínky degradace hmoty

$$n_2 \leq n_1$$

$4,95 \leq 5$  podmínka vyhovuje, nedojde k degradaci hmoty.

### Násobnost podle velikosti uzavírací síly stroje [26]

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F}{S \cdot p_{v \max}} \quad [-] \quad (8)$$
$$n_3 = \frac{0,8 \cdot 2,2}{3,37 \cdot 10^{-3} \cdot 139} = 3,76$$

### Výpočet plochy dutin a kanálu kolmo na směr uzavírací roviny

$$S = \pi \cdot r^2 + L \cdot D_K \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$
$$S = \pi \cdot 0,0315^2 + 0,062 \cdot 0,0041 = 3,37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Kde  $F$ ..... uzavírací síla stroje [MN]  
 $S$ ..... plocha dutin a kanálů v dělicí rovině kolmo na směr uzavírací síly [ $\text{m}^2$ ]  
 $p_{v \max}$ ... Maximální vstřikovací tlak stroje [MPa]  
 $L = 0,062$  m ... délka rozváděcího kanálu měřen softwarem Inventor Professional  
 $D_K = 0,0041$  m ... průměr rozváděcího kanálu viz 6.2  
 $r = 0,0315$  m ... největší poloměr průchodky (tvarové dutiny)

### Násobnost podle termínu dodání [26]

Velikost výrobní série:  $N = 90\,000$  ks  
Požadovaný termín dodání:  $t_{\text{DOD}} = 2$  týdny (dvousměnný provoz)  $\approx t_{\text{DOD}} = 160$  h  
Faktor využití času:  $K_t = (0,7 \text{ až } 0,8) \Rightarrow$  voleno  $K_t = 0,8$

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{t_{\text{DOD}} \cdot K_t \cdot 3600} \quad [-] \quad (10)$$

$$n_4 = \frac{90000 \cdot 20}{160 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 4,1$$

Technická násobnost formy je nejmenší hodnota z výše uvedených rovnic pro  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ , což je  $n_3 = 3,76$  a tedy celková technická násobnost formy je  $n = 4$ . Vhodnost použití tohoto typu stroje je podmíněna vztahem  $n_4 > n_3$  ( $4,1 > 3,76$ ). V případě, že by tento vztah nebyl dodržen, je nutno zvolit jiný typ vstřikovacího stroje. Z předcházejícího výpočtu je uvedený vztah dodržen, stroj Arburg Allrounder 570 S je proto vhodný k výrobě součásti.

## 6.2 Výpočet rozváděcích kanálků [18], [26]

Rozváděcí soustavu vstřikovací formy tvoří tři části a to hlavní vtokový kanál, rozváděcí kanál a ústí vtoku.

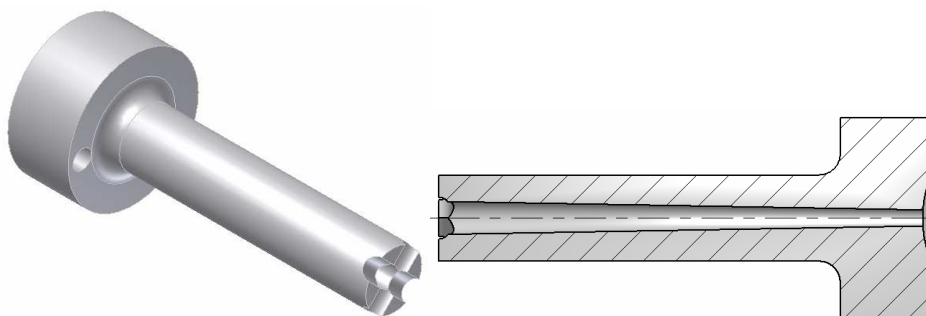
Hlavní rozváděcí kanál (obr. č. 38) je normalizovanou součástí firmy Meusburger a má tvar protáhlého kužele. Jeho rozměry jsou voleny na základě hmotnosti požadovaného výstřiku. Diagram pro volbu rozměrů hlavního vtokového kanálu (obr. č. 39) určuje malý vstupní průměr  $\varnothing d$ , z kterého se pak určí velký průměr  $\varnothing D_v$ . Pro polypropylen a hmotnosti výstřiku  $M = 6,66g$  plyne z grafu  $\varnothing d = 2,5$  mm a tedy z normalizované součásti velký průměr  $D_v = 4,6$  mm.

### Výpočet hmotnosti výstřiku

$$M = \rho \cdot V \text{ [g]} \quad (11)$$

$$M = 0,94 \cdot 7,086 = 6,66g$$

Kde  $V = 7,086 \text{ cm}^3$  ... objem výstřiku měřeno softwarem (Inventor professional)  
 $\rho = 0,94 \text{ g/cm}^3$  ... hustota polypropylenu



**Obr. č. 38 Hlavní vtokový kanál**



**Obr. č. 39 Diagram pro volbu rozměrů hlavního vtokového kanálu [26]**

Tvar rozváděcího kanálu byl zvolen kruhový z důvodu nejmenší kontaktní plochy homogenizovaného plastu a plochy rozváděcího kanálu k největší ploše průřezu kanálu. Polovina kanálu je vyfrézována do tvárníku, druhá polovina do tvárnice. Toto umístění zajišťuje vhodné plnění tvarové dutiny formy taveninou. Zvolený způsob je výrobně složitější a tedy i finančně náročnější, přesto se v konečném důsledku vyplatí z důvodu kvality hotového výstřiku. Rozváděcí kanály jsou uspořádány do hvězdy.

#### **Výpočet rozměrů rozváděcích kanálů [26]**

$$D_K = D_V \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_P \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

$$D_K = 4,6 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1 \cong 4,1 \text{ mm}$$

- Kde
- $D_K$ ..... průměr rozváděcího kanálu
  - $D_V$ ..... velký průměr vtokového kanálu [mm]
  - $K_V$ ..... korekční součinitel vlastností plastu [-]
  - $K_C$ ..... korekční součinitel délky rozváděcího kanálu [-]
  - $K_P$ ..... korekční součinitel vlastnosti polymeru [-]

**Tabulka č. 4 Korekční součinitel vlastností plastů [26]**

Plast	PE, PS	PP, hPS, PA	ABS, PBT	PC, POM, mPVC	PMMA, tPVC, FEP
Korekce – $K_V$	0,4 – 0,6	<b>0,5 – 0,8</b>	0,6 – 0,8	0,7 – 0,9	0,8 – 1,0

**Tabulka č. 5 Korekční součinitel délky rozváděcího kanálku [26]**

Délka kanálů [mm]	60	<b>60 - 100</b>	100 - 160	160 - 220	220 - 300	300 - 400
Korekce – $K_C$	1	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5

**Tabulka č. 6 Korekční součinitel vlastností polymeru [26]**

Plnění polymerů [%]	<b>0</b>	16	30
Korekce – $K_P$	<b>1</b>	1,1	1,2

Vtokové ústí je napojené na rozváděcí kanály plynule tedy zúžením rozváděcího kanálu až do konečného tvaru ústí vtoku. V tomto případě je to do obdelníku (obr. č. 40).

**Tvar vtokového ústí a jeho výpočet [26]**

$$h = m \cdot s [\text{mm}] \quad (13)$$

$$h = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ mm}$$

$$I \leq D_K - 1,5 \text{ mm} \quad (14)$$

$$I \leq 4,1 - 1,5 = 2,6 \text{ mm}$$

Kde  $m$  ... se řídí podle poměru  $I/h$  a bývá 0,3-0,6  
**voleno 0,45**  
 $s$  ... tloušťka stěny výstřiku [mm]  
 $h$  .. výška ústí [mm]  
 $I$  ... šířka vtokového ústí [mm]  
 $D_K$  ... průměr rozváděcího kanálu [mm]



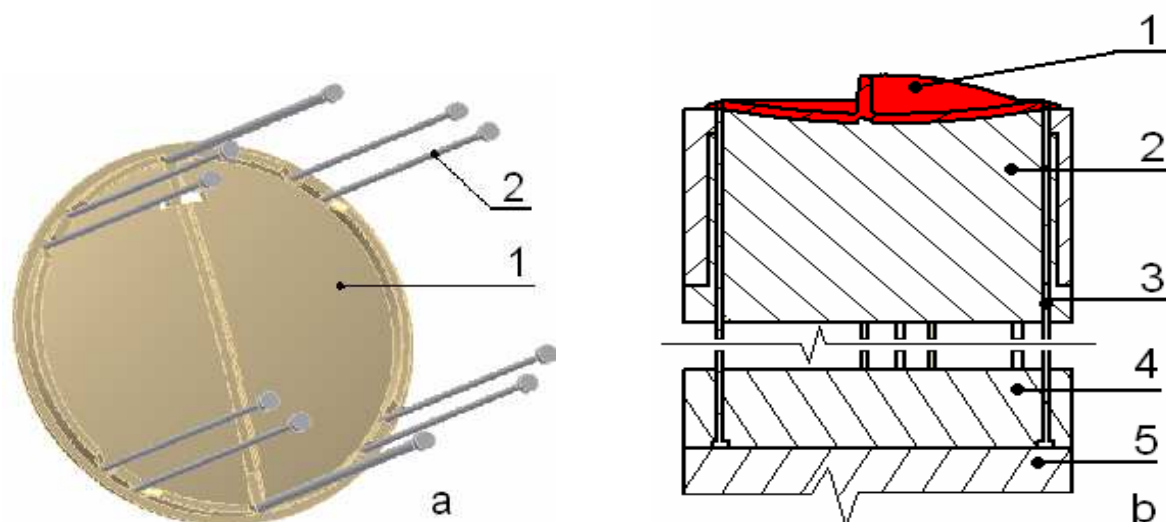
**Obr. č. 40 Tvar průřezu rozváděcího kanálu a vtokového ústí**



### 6.3 Vyhazovací systém [12], [24]

Funkcí vyhazovacího systému je co nejjednodušeji vyhodit ztuhlý výstřík z dutiny formy, aniž by došlo k poškození výstříku. Dále musí vyhazovače zajistit vyhození ztuhlého vtokového zbytku, který zůstává v rozváděcích kanálech a v hlavním kuželovém vtoku.

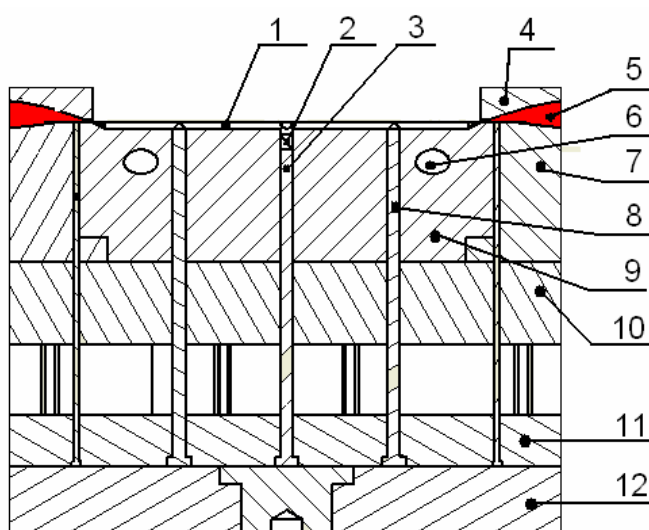
Pro vyhození výstříku z dutiny formy je nutno respektovat určitá pravidla. Výstřík by měl mít úkosity ve směru vyhazování (více kapitola 5.6 technologické úkosity). Dalším pravidlem pro vyhození výstříku je jeho rovnoměrné vysunutí, aby nedošlo ke zpříčení výstříku a následně k jeho poškození. Normalizované vyhazovací kolíky od firmy Meusburger jsou umístěny blízko integrálních háčků, které budou klást největší odpor při vyhození a dále dva vyhazovače jsou umístěny do osy výstříku, čímž se zajistí rovnoměrné rozložení síly pro vyhození (obr. č. 41). Stopa po vyhazovačích zůstává na nepohledové straně. Tento systém uspořádání vyhazovačů by měl zajistit snadné vyjmutí výstříku, aniž by se poškodil.



Obr. č. 41 Vyhazování výstříku

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| a) 1 – výstřík         | 2 – kolíkový vyhazovač |
| b) 1 – výstřík         | 4 – přidržovací deska  |
| 2 – tvarová vložka     | 5 – vyhazovací deska   |
| 3 – kolíkový vyhazovač |                        |

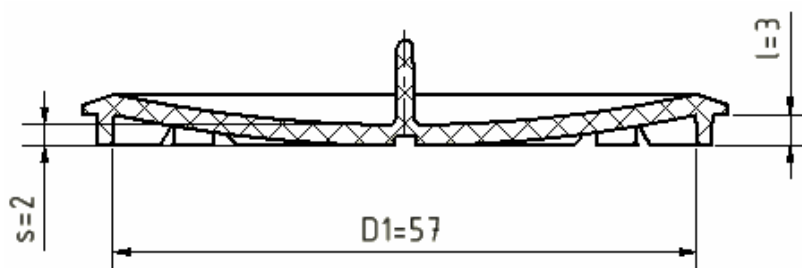
Dalším úkolem vyhazovacího systému je vyhodit vtokové zbytky, které zůstaly v rozváděcích kanálech a hlavním kuželovém vtoku (obr. č. 42). Pro tento účel byla zvolena konstrukce formy s pěti vyhazovači. Jeden z vyhazovačů byl umístěn pod hlavní kuželový vtok a zbylé čtyři do drah vtokových kanálků. Vyhazovač pod hlavním kuželovým vtokem byl upraven do podoby, jak znázorňuje (obr. č. 28 uprostřed). Tímto konstrukčním řešením zajistíme setrvání ztuhlého vtoku na straně vyhazovače.



**Obr. č. 42 Vyhazovací systém vtokové soustavy**

- 1 – rozváděcí kanálek
- 2 – přídržovač vtokové soustavy
- 3 – vyhazovač hlavního kuželového vtoku
- 4 – tvarová vložka tvárnice,
- 5 – výstřík
- 6 – chladicí systém tvárníku
- 7 – tvarová vložka tvárníku
- 8 – vyhazovač rozváděcích kanálků,
- 9 – tvárník
- 10 – opěrná deska
- 11 – přídržovací deska,
- 12 – vyhazovací deska

Síla na vyhození výstříku a vtokového zbytku se velmi obtížně matematicky vyjadřuje. Závisí na mnoha aspektech, které lze mnohdy obtížně zjistit. Výstřík s vtokovým zbytkem bude vyhozen pomocí síly hydrauliky vstřikovacího stroje, která bývá značně naddimenzována. Proto se vyhazovací síla v praxi nezjišťuje. Optimální nalezení vyhazovací síly se provádí až po odzkoušení formy. Obrázek č. 43 znázorňuje rozměry potřebné k vypočtení vyhazovací síly stroje.



**Obr. č. 43 Rozměrové parametry dílce**

#### Kontrolní výpočet síly pro vyhození výstříku z formy [24]

Modul pružnosti při teplotě odformování 70 °C

Polypropylen s vysokou tekutostí	
Modul pružnosti v tahu [50 °C]	450 MPa
Modul pružnosti v tahu [100 °C]	250 MPa

Zvoleno  $E_{TE} = 330 \text{ MPa}$   
 Drsnost povrchu  $R_a = 1,6 \text{ } \mu\text{m} \rightarrow$  koeficient tření  $f = 0,39$   
 Smrštění  $s_m = 2 \%$

#### Výpočet tahového napětí $\sigma_t$ [24]

$$\sigma_t = s_m \cdot E_{TE} \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

$$\sigma_t = 2 \cdot 330 = 660 \text{ MPa}$$

#### Výpočet tlaku vyvolaný plastem a tvárníkem $p_T$ [24]

$$p_T = \sigma_t \cdot \frac{s}{r_1} \quad [\text{MPa}] \quad (16)$$

$$p_T = 660 \cdot \frac{2}{28,5} = 46,3 \text{ MPa}$$

Kde  $r_1 \dots$  poloměr vnitřní plochy výstřiku

$$r_1 = \frac{D1}{2} \quad [\text{mm}] \quad (17)$$

$$r_1 = \frac{57}{2} = 28,5 \text{ mm}$$

#### Výpočet plochy vnitřního válcového výstřiku $S_{TV}$

$$S_{TV} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot r_1 \quad [\text{mm}^2] \quad (18)$$

$$S_{TV} = 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 28,5 = 537,21 \text{ mm}^2$$

#### Výpočet vyhazovací síly $F_v$ [24]

$$F_v = f \cdot S_{TV} \cdot p_T \quad [\text{N}] \quad (19)$$

$$F_v = 0,39 \cdot 537,21 \cdot 46,3 = 9700 \text{ N}$$

Jak už bylo zmíněno výše, tento výpočet je velmi orientační a jeho přesnost není zcela optimální. Modul pružnosti pro teplotu odformování byl zvolen mezi dvěma odzkoušenými rozmezími a výpočet plochy vnitřního válcového výstřiku byl také zjednodušen. Tvar výstřiku není válec. Přesto je zde dokázána, naddimenzovanost vstřikovacího stroje pro vyhození výstřiku. Maximální vyhazovací síla stroje Allouder 570 S je 70 kN viz příloha 2, což je asi sedminásobek vypočtené vyhazovací síly.

## 6.4 Temperační soustava [9], [12], [26]

Účelem temperování forem je dosáhnout optimální doby pracovního cyklu vstřikování při zachování technologických požadavků na výrobu. Jeden z nejdůležitějších úkolů konstruktéra je navržení vhodného temperačního systému, protože ovlivňuje nejen kvalitu výstřiku, ale také celou ekonomiku výroby.

Navržená temperační soustava je chladícím systémem formy. Jako chladicí médium byla použita voda, která proudí vrtanými kanály. Při návrhu temperačního systému vstřikovací formy pro výrobu krytky byly navrženy temperační kanály v průřezu tvaru kruhu, které jsou nejběžnější. Optimální velikost průřezu kanálu se volí na základě velikosti výstřiku, druhu plastu a velikosti rámu formy (viz tabulka č. 7). Ve vstřikovací formě jsou tři okruhy temperačního systému, chladicí systém ve tvárníku, tvárnici a chlazení hlavního kuželového vtoku.

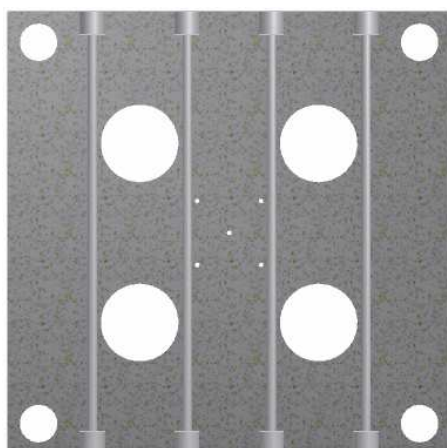
Obrázek č. 44 ukazuje řešení temperačního systému tvárníku. Kanály jsou navrženy rovnoběžně blízko tvarových vložek tak, aby je obklopovaly z obou stran.

Obrázek č. 45 znázorňuje řešení temperačního systému tvárnice. Řešení je shodné jako u tvárníku s tím rozdílem, že je vedeno do kříže oproti tvárníku. Toto konstrukční řešení zajistí chlazení zbývajících dvou stran tvarových vložek. V takto navrženém systému se nevyskytují tzv. mrtvé kouty, ve kterých by se shromažďovaly nečistoty způsobující počátek koroze.

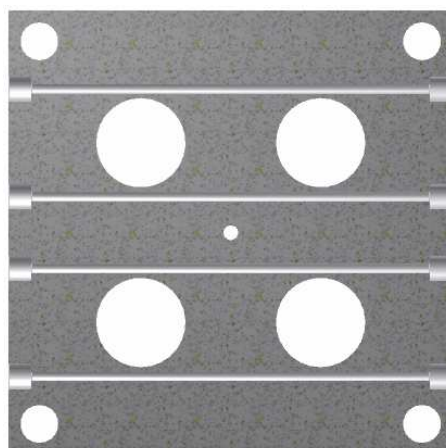
Chlazení hlavního vtokového kužele a jeho konstrukční řešení je stejné jako u předcházejících součástí. Na obrázku č. 46 je zobrazen celý chladicí systém formy i s výstřiky a rozváděcími kanály homogenizovaného plastu.

**Tabulka č. 7 Orientační hodnoty volby průměru kanálů v závislosti na výstřiku a rámu formy [26]**

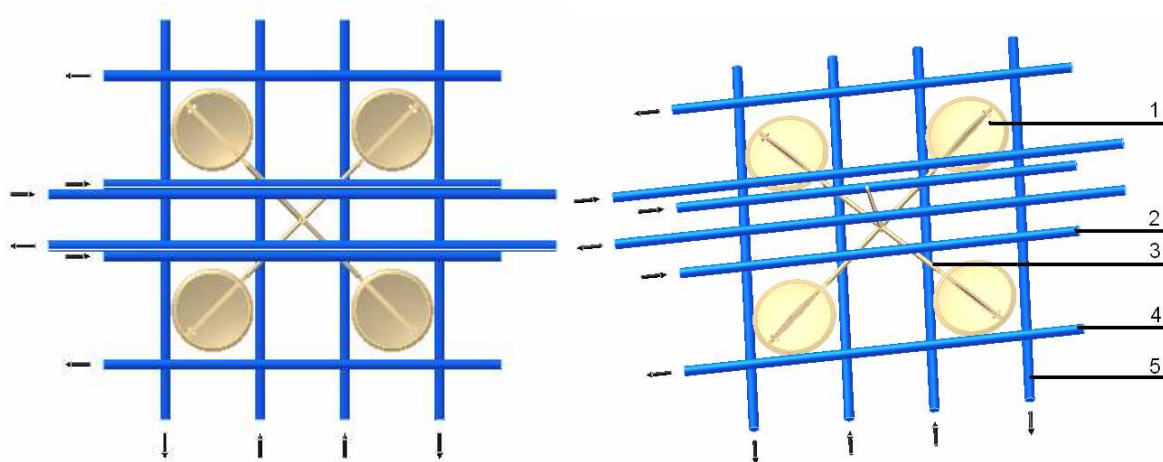
výstřik [g] rám [mm]		1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500
	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800
160 x 160	6	6	6	6	6									
16 x 230		6	8	8	8	8	8	8	8					
230 x 230		8	8	8	8	8	8	8	8	8				
230 x 300			8	8	8	8	8	8	8	8	10			
300 x 300			8	8	8	8	8	8	8	8	10	10		
300 x 370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	
370 x 370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10



Obr. č. 44 Řez tvárníku



Obr. č. 45 Řez tvárnice



Obr. č. 46 Temperovací okruh vstřikovací formy

1 – výstřik

2 – chladicí kanál hlavního vtokového kužele

3 – vtoková soustava

4 – chladicí kanál tvárnice

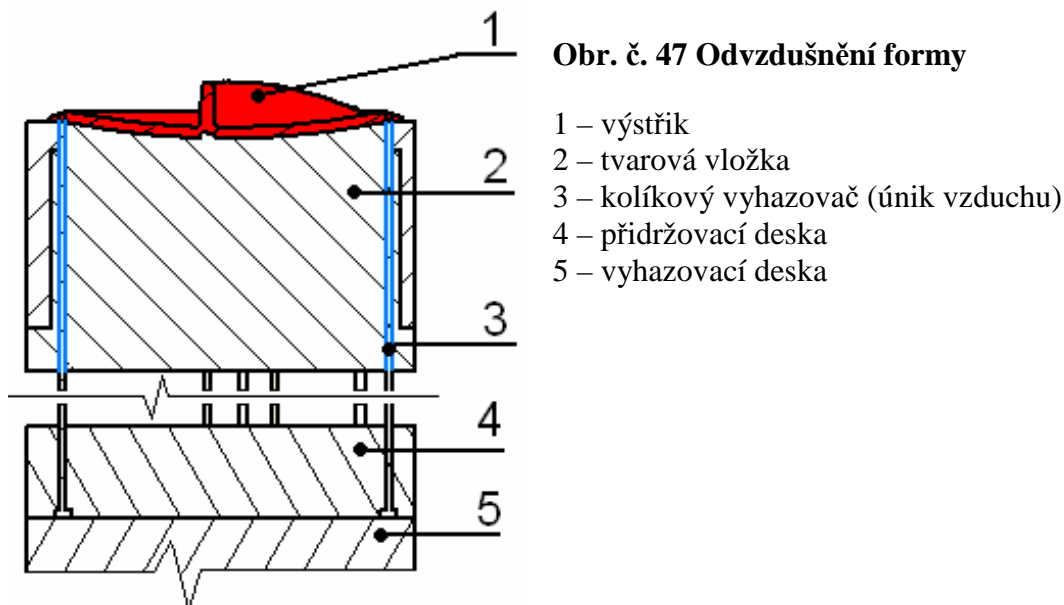
5 – chladicí kanál tvárníku

## 6.5 Odvzdušnění formy [26], [29]

Při plnění tvarové dutiny formy taveninou se musí zajistit dostatečné odvzdušnění. Pokud je odvzdušnění nedostatečné, může dojít k výrobním vadám, které znehodnocují vlastnosti a kvalitu požadované součásti. Forma je odvzdušněná pomocí netěsnosti dělicí roviny a vůlemi mezi vyhazovači a tvarovými vložkami tvárníku a tvárnice. Obrázek č. 47 znázorňuje odvádění vzduchu podél vyhazovačů, které je vyznačeno modrou barvou. Doporučené vůle jsou pro vstřikovaný materiál polypropylen do 0,04 mm, jak znázorňuje tabulka č. 8.

**Tabulka č. 8 Doporučené vůle pro odvzdušnění [29]**

Plast	vůle [mm]
PS, ABS, PE, <b>PP</b> , POM, PMMA	<b>do 0,04</b>
PA	do 0,02
PPO, PBT	do 0,03



## 6.6 Materiál formy [2], [3], [11], [18]

Základní část formy je tvořena normalizovanými deskami, které dodává firma Meusburger Georg GmbH & Co KG. Tyto desky jsou z materiálu W. Nr. 1.1730 (ČSN 19 083) a nevyžadují další zpracování.

Materiál 1.1730 je nejpoužívanější uhlíková nástrojová ocel s vysokou houževnatostí a pevností. Je odolná vůči rázům a velmi dobře obrobitelná v žíhaném stavu. Není náchylná na kalící trhliny. Další informace jsou uvedené v příloze č.3.

Důležitou částí formy jsou i tvarové vložky tvárníku a tvárnice. Ty udávají tvar výstříku. Jako materiál tvarových vložek byla zvolena nástrojová ocel pro práci za tepla W. Nr. 1.2311 (ČSN 19 520) viz materiálový list, příloha č. 4.

Vyhazovací systém vstřikovací formy je tvořen normalizovanými díly (vyhazovači) od firmy Meusburger. Vyhazovače jsou vyrobeny z nástrojové oceli W. Nr. 1.2210 (ČSN 19 421) viz materiálový list, příloha č. 5.

## 7 KONTROLA VSTŘIKOVACÍHO STROJE [1], [12]

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.1 násobnost vstřikovací formy, je použit na vstřikování krytky vstřikovací stroj značky Arburg Allrounder 570 S (obr. č. 48). Zvolení optimálního vstřikovacího stroje značně ovlivní kvalitu samotného výstřiku. Stroj musí splňovat dostatečnou vstřikovací kapacitu, vyhovující vstřikovací a uzavírací tlak a v neposlední řadě vhodnou koncepci. Pokud jedna z těchto věcí není splněna, musí se zvolit jiný typ stroje, popřípadě upravit konstrukce formy.



Obr. č. 48 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 570 S [1]

### Parametry vstřikovacího stroje

Maximální zdvihový objem:	71 cm <sup>3</sup>
Maximální plastikační výkon stroje:	9,5 kg/h
Maximální uzavírací síla stroje:	2200 KN
Maximální vstřikovací tlak stroje:	139 MPa
Průměr šneku:	30 mm
Maximální zdvih vyhazovače:	200 mm
Maximální vyhazovací síla:	70 KN
Vzdálenost mezi vodícími sloupy:	570 x 570 mm
Příkon stroje:	30 KW
Další parametry v příloze 5	

### Výpočet minimální vstřikovací kapacity stroje [12]

$$\begin{aligned}c_v &\geq 1,1 \cdot n \cdot (V + V_K) \quad [\text{cm}^3] \\c_v &\geq 1,1 \cdot 4 \cdot (7,086 + 4,2516) = 49,89 \text{ cm}^3\end{aligned} \tag{20}$$

Kde  $c_v$  [cm<sup>3</sup>]...je minimální vstřikovací kapacita stroje

### Výpočet minimální plastikační kapacity stroje [12]

$$c_p \geq \frac{4 \cdot n \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_c} \quad [\text{kg/h}] \tag{21}$$

$$c_p \geq \frac{4 \cdot 4 \cdot 0,94 \cdot (7,086 + 4,2516)}{19,4} = 8,79 \text{ kg/h}$$

Kde  $c_p$  [kg/h] ... minimální plastikační kapacita stroje

#### Výpočet minimální přidržovací síly [12]

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot p_v \cdot (0,7854 \cdot D_p^2 + D_K \cdot L) \quad [\text{KN}] \quad (22)$$

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 120 \cdot (0,7854 \cdot 63^2 + 4,1 \cdot 62) = 1780,13 \text{ KN}$$

Kde  $F_p$  [KN] ..... minimální přidržovací síla  
 $D_p = 63$  mm ... největší průměr krytky

#### Výpočet průměru šneku [12]

$$\begin{aligned} 7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} &\leq D_s \leq 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \\ 7,5 \cdot \sqrt[3]{48,35} &\leq D_s \leq 10,5 \cdot \sqrt[3]{48,35} \\ 27,32 &\leq D_s \leq 38,24 \end{aligned} \quad (23)$$

Kde  $D_s$  [mm] ..... průměr šneku  
 $V_D = 48,35 \text{ cm}^3$  ... vstřikovaný objem dávky (viz kapitola 6.1)

Dle vypočtených kontrolních hodnot bylo zjištěno, že zvolený stroj na výrobu krytky plně vyhovuje požadavkům pro výrobu dané součásti.



## 8 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VÝROBY [5], [6], [22], [23]

Data potřebná k vyhodnocení a k výpočtu ekonomických nákladů na celý výrobní proces požadované součásti ke dni 17. 5. 2011.

Rostex Vyškov s.r.o. - nástrojárna

Práce na klasických obráběcích strojích: 800 Kč/h

Práce elektroerozivních strojů: 800 Kč/h

Arburg spol. s.r.o. – výrobce a dodavatel vstřikovacích strojů

Stroj ALLROUNDER 570S

Hrubá hodinová mzda obsluhy:  $N_{MZ} = 110$  Kč

Cena stroje je zahrnuta v podobě odpisů ve výrobní režii, z důvodu využití stroje i k jiné výrobě.

ČNB Česká národní banka

Kurz ČNB 24,55 Kč/1EUR

Směnný kurz 17,40 Kč/1USD

Slovnaft, a. s. – výrobce a dodavatel polypropylenu

Dodaný materiál polypropylen (PP) Tipplen H 916 A

Cena materiálu: 1150 USD/t

Cena jednoho gramu materiálu:  $C_m = 0,02001$  Kč/g

ČEZ, a. s. – dodavatel elektrické energie

Cena elektrické energie:  $N_E = 4,8$  Kč/kWh

### Data pro výpočet ekonomických nákladů plynoucích z procesu vstřikování:

Velikost výrobní série:  $N = 90\,000$  ks

Násobnost formy:  $n = 4$

Objem výstřiku:  $V_d = 48,35$  cm<sup>3</sup>

Hustota polypropylenu:  $\rho = 0,94$  g/cm<sup>3</sup>

Čas vstřikovacího cyklu:  $t_c = 20$  s

Příkon stroje:  $P = 30$  KW

Koeficient opotřebení stroje:  $k = 0,8$

### Náklady na výrobu krytky

Počet vstřikovacích cyklů

$$c = \frac{N}{n} \quad [-] \quad (24)$$

$$c = \frac{90000}{4} = 22500$$

#### **Hmotnost celého výstřiku**

$$M_c = \rho \cdot V_D \quad [\text{g}] \quad (25)$$

$$M_c = 0,94 \cdot 48,35 = 45,45 \text{ g}$$

#### **Celková spotřeba materiálu**

$$M_{cel} = M_c \cdot c \quad [\text{g}] \quad (26)$$

$$M_{cel} = 45,45 \cdot 22500 = 1022625 \text{ g}$$

#### **Náklady na materiál pro celou sérii výroby**

$$N_{CM} = C_m \cdot M_{cel} \quad [\text{Kč}] \quad (27)$$

$$N_{CM} = 0,02001 \cdot 1022625 = 20463 \text{ Kč}$$

#### **Náklady na pořízení formy**

Vstřikovací formu pro výrobu krytky tvoří z velké části normalizované díly od firmy Meusburger Georg GmbH & Co Kg. Pořizovací cena rámu vstřikovací formy je stanovena na 1773 €. Náklady na normalizované díly po přepočtu na koruny činí  $N_N = 43\,427 \text{ Kč}$ .

Tvarová dutina formy je umístěna v desce tvárníku a tvárnice. Z důvodu možnosti vyrobitelnosti tvoří tuto dutinu dvě tvarové vložky. Z těchto skutečností vyplývá, nutnost úpravy normalizovaných desek tvárníku a tvárnice. Další úpravy si vyžádá vyhazovací systém formy. Odhadované náklady těchto úprav jsou  $N_U = 35\,000 \text{ Kč}$ .

Odhad nákladů na výrobu tvarových vložek dutiny formy činí  $N_V = 50\,000 \text{ Kč}$ .

#### **Celková cena formy**

$$N_F = N_N + N_U + N_V \quad [\text{Kč}] \quad (28)$$

$$N_F = 43427 + 35000 + 50000 = 128427 \text{ Kč}$$

### **Náklady na provoz stroje**

#### **Náklady na hodinový provoz stroje**

$$N_{HP} = \frac{P \cdot N_E}{k} \quad [\text{Kč/h}] \quad (29)$$

$$N_{HP} = \frac{30 \cdot 4,8}{0,8} = 180 \text{ Kč}$$

#### **Čas výroby celé série**

$$t_{cel} = \frac{t_c \cdot N}{n} \quad [\text{s}] \quad (30)$$

$$t_{cel} = \frac{20 \cdot 90000}{4} = 450000 \text{ s} = 125 \text{ h}$$

#### **Náklady na provoz stroje pro výrobu celé série**

$$N_S = N_{HP} \cdot t_{cel} \quad [\text{Kč}] \quad (31)$$

$$N_S = 180 \cdot 125 = 22500 \text{ Kč}$$

### **Mzdové náklady obsluhy**

$$N_O = N_{MZ} \cdot 1,34 \cdot t_{cel} \quad [\text{Kč}] \quad (32)$$

$$N_O = 110 \cdot 1,34 \cdot 125 = 18425 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady obsahují sociální a zdravotní pojištění ve výši 34 % z hodinové mzdy obsluhy placené zaměstnavatelem za zaměstnance.

### **Výrobní režie**

Výrobní režie obsahuje ostatní náklady spojené s výrobou a jsou vypočítány s výrobní přírůžkou ve výši 200 % ze mzdových nákladů.

$$N_{VR} = N_O \cdot 2 \quad [\text{Kč}] \quad (33)$$

$$N_{VR} = 18425 \cdot 2 = 36850 \text{ Kč}$$

### **Správní režie**

Správní režie obsahuje náklady spojené s řízením a chodem firmy a jsou vypočítány přírůžkou ve výši 120 % mzdových nákladů

$$N_{SR} = N_O \cdot 1,2 \quad [\text{Kč}] \quad (34)$$

$$N_{SR} = 18425 \cdot 1,2 = 22110 \text{ Kč}$$

### **Celkové náklady na výrobu série**

$$N_C = N_{CM} + N_F + N_S + N_O + N_{VR} + N_{SR} \quad [\text{Kč}] \quad (35)$$

$$N_C = 20463 + 128427 + 22500 + 18425 + 36850 + 22110 = 248765 \text{ Kč}$$

### **Náklady na jeden kus**

$$N_{KS} = \frac{N_C}{N} \quad [\text{Kč}] \quad (36)$$

$$N_{KS} = \frac{248765}{90000} = 2,80 \text{ Kč}$$

Za daných podmínek při výrobě série 90 000 kusů krytek jsou celkové výrobní náklady 2,80 Kč na jednu krytku.

## 9 ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo navrhnout technologii výroby a současně zpracovat ekonomické zhodnocení požadované plastové součásti - krytky do stolu.

V úvodní části jsou uvedeny některé metody zpracování plastů. Z nich je vybrána nejvhodnější metoda, což je vstřikování plastů do kovové formy.

Další část práce se zabývá samotnou krytkou, výběrem vhodného materiálu na její výrobu, možným zaformováním součásti a s tím souvisejícími problémy. Jako materiál k použití byl zvolen polypropylen Tipplen H 916 A od společnosti Slovnaft a.s. Jedná se o vstřikovací typ polypropylenu s dobrou zatékavostí.

Na základě rozboru součásti byla navržena odpovídající konstrukce vstřikovací formy. Na formu byly využity normalizované díly od firmy Meusburger Georg GmbH & Co KG. Násobnost formy byla vypočtena pro konkrétní typ vstřikovacího stroje s výrobním označením ALLROUNDER 570S a současně byly provedeny kontrolní výpočty k ověření vhodnosti použití tohoto stroje pro výrobu dané součásti.

Poslední část diplomové práce obsahuje ekonomické vyhodnocení celého výrobního cyklu krytky do stolu.

Takto vypracovaný návrh konstrukce formy může být použit k simulovanému odzkoušení formy, které by odhalilo případné nedostatky ještě ve fázi před výrobou samotné formy, což by zamezilo vzniku nežádoucích nákladů.

## Seznam použité literatury [4]

1. *Arburg Allrounder s* [online]. 2010 [cit. 2011-03-15]. Produkty. Dostupné z WWW: <[http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder\\_s/index.jsp](http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_s/index.jsp)>.
2. *Bohdan Bolzano* [online]. 2004 [cit. 2011-03-10]. Materiálový list. Dostupné z WWW: <<http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojovky/NOPLASTY/materialovelisty/40CrMnMo7/>>
3. *Bohdan Bolzano* [online]. 2004 [cit. 2011-03-10]. Materiálový list. Dostupné z WWW: <<http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojovky/zastudena/uhlikove/prehled/C45U/>>
4. *Citace.com* [online]. Verze 2.0. 2009 [cit. 2011-05-15]. Generátor citací. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php?druh=8&ukol=1>>.
5. *Česká národní banka* [online]. 2003-2011 [cit. 2011-05-17]. Kurzy devizového trhu. Dostupné z WWW: <[http://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)>.
6. *ČEZ* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. Ceny elektřiny. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/firmy-a-podnikatele/elektrina/ceny-elektriny-2011.html>>
7. DLUHOŠ, Jindřich. *Materiály a technologie : Plasty a vybrané nekovové materiály*. 3 vydání. Ostrava : Ostravská univerzita, 1998. 141 s. ISBN 80-7042-131-2.
8. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ŽEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
9. HENDRYCH, Josef, Antonín WEBER a Jaroslav DOLEŽAL. *Standartizace rámců a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. 1 vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. 360 s. ISBN DT 678.057:621.746.073.
10. CHROMÁ, Bronislava a František ČERNÝ. *Materiály pro 1. a 2. ročník učebního oboru gumař - plastikář*. 2 nezměněné vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981. 224 s. ISBN DT 678 (075.3).
11. *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. 2010 [cit. 2011-04-15]. Ocel nástrojová pro práce za studena W. NR. 1.2210. Dostupné z WWW: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojova-ocel-12210>.
12. KANDUS, Bohumil. *Přednášky a podklady do cvičení – HTZ Technologie zpracování plastů*. 2009
13. KOLEKTIV. *Aplikace plastů ve strojírenství*. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1984. 106 s. ISBN DT 01 - 262/84.
14. KOLEKTIV. *Celoštátní kurz : Nekonvenční technologie, materiály na formy pre plasty. Výroba a údržba foriem pre plasty*. 1. vydání. Zlín : Dom techniky ČSVTS Bratislava, 1986. 64 s. ISBN DT-76/86.
15. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastu*. 1 vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1981. 260 s. ISBN DT 678.5 : 621.81.

16. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastu vyráběné vstřikováním*. 1 vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. 229 s. ISBN DT 621.002.61 : 678.5.
17. LENFELD, Petr. *Technická univerzita Liberec-Fakulta strojní-Katedra strojní technologie-Oddělení tváření kovů a plastů : Skripta technologie II.- Technologie zpracování plastů* [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)>.
18. *Meusburger* [online]. 2009 [cit. 2011-04-22]. Produkty: E-díly. Dostupné z WWW: <<http://www.meusburger.com/produkty-1/prehled-produktu/e-dily>>.
19. *Mould&Matic* [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. Produkty-vstřikovací formy. Dostupné z WWW: <[http://www.mouldandmatic.cz/data/obrazky/vstrik\\_formy\\_v.jpg](http://www.mouldandmatic.cz/data/obrazky/vstrik_formy_v.jpg)>.
20. PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. 1 vydání. Brno : Masarykova univerzita, 2006. 54 s. ISBN 80-210-4100-5.
21. *Rawela, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2011-02-14]. Konstrukce a výroba nástrojů a forem. Dostupné z WWW: <[http://www.rawela.cz/public/formy/formal\\_b.jpg](http://www.rawela.cz/public/formy/formal_b.jpg)>.
22. *Rostex* [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. Rostex Vyškov, s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.rostex.cz/>>.
23. RUIBAR, Jakub. *Výroba součástí z plastu*. Brno, 2009. 68 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství.
24. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Praha : Sekurkon, 2009. 229 s. ISBN 978-80-86604-44-2.
25. *Slovnaft* [online]. 2006 [cit. 2011-05-15]. Výrobky: polypropylén. Dostupné z WWW: <[http://www.slovnaft.sk/sk/obchodni\\_partneri/petchem/vyroby/polypropylen/](http://www.slovnaft.sk/sk/obchodni_partneri/petchem/vyroby/polypropylen/)>.
26. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi : Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*, 5. Aktualit. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.
27. VACÍK, Jiří, Jana BARTHOVÁ, Josef PACÁK, Bohuslav STRAUCH, Miloslava SVOBODOVÁ a František ZEMÁNEK. *Přehled středoškolské chemie*. 2 vydání. Praha : SPN-pedagogické nakladatelství, 1999. 368 s. ISBN 80-7235-108-7.
28. *Zbrojovka Vsetín-nástroje* [online]. 2010 [cit. 2011-02-14]. Vstřikovací formy. Dostupné z WWW: <[http://www.zv-nastroje.cz/web/images/stories/web/6\\_FORMY/DSCN0245a.jpg](http://www.zv-nastroje.cz/web/images/stories/web/6_FORMY/DSCN0245a.jpg)>.
29. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů : úvod do vstřikování termoplastů*. 1 vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

## Seznam použitých zkratek

Označení	Legenda	Jednotka
$\rho$	Hustota polypropylenu	[g/cm <sup>3</sup> ]
A	Označení začátku plnění dutiny formy	[-]
A – A´	Rozptyl přepnutí vnitřního tlaku na dotlak	[-]
a <sub>eff</sub>	Efektivní tepelná vodivost polypropylenu	[mm <sup>2</sup> /s]
B	Okamžik ukončení dotlaku	[-]
B	Označení ukončení plnění dutiny formy	[-]
B´	Ukončení doby plnění výstřiku	[-]
C	Označení ztuhnutí hmoty v dutině kanálu	[-]
c	Počet vstřikovacích cyklů	[-]
C <sub>m</sub>	Cena jednoho gramu materiálu	[Kč]
c <sub>p</sub>	Minimální plastikační kapacita stroje	[kg/h]
c <sub>v</sub>	Minimální vstřikovací kapacita stroje	[cm <sup>3</sup> ]
D	Označení ukončení dotlaku	[-]
D <sub>I</sub>	Průměr vnitřní plochy výstřiku	[mm]
D <sub>K</sub>	Průměr rozváděcího kanálu	[mm]
D <sub>p</sub>	Největší průměr průchodky	[mm]
D <sub>s</sub>	Průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E <sub>TE</sub>	Modul pružnosti při teplotě odformování	[MPa]
F	Označení dokonalého ztuhnutí výstřiku	[-]
F	Maximální uzavírací síla stroje	[MN]
f	Koeficient tření	[-]
f	Koeficient tření	[-]
F <sub>p</sub>	Minimální přidržovací síla stroje	[KN]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
h	Výška vtokového ústí	[mm]
I	Šířka vtokového ústí	[mm]
k	Koeficient opotřebení stroje	[-]
K <sub>c</sub>	Korekční součinitel délky rozváděcích kanálků	[-]
K <sub>p</sub>	Korekční součinitel vlastnosti polymeru	[-]
K <sub>t</sub>	Faktor využití času	[-]
K <sub>v</sub>	Korekční součinitel vlastnosti plastu	[-]
L	Délka rozváděcího kanálu	[mm]
M	Hmotnost výstřiku	[g]
M <sub>c</sub>	Hmotnost celého výstřiku	[g]



$M_{cel}$	Celková spotřeba materiálu	[g]
$N$	Velikost výrobní série	[ks]
$n_1$	Násobnost dle kapacity vstřikovacího stroje	[-]
$n_2$	Násobnost dle plastikačního výkonu stroje	[-]
$n_3$	Násobnost dle velikosti uzavírací síly stroje	[-]
$N_C$	Celkové náklady na výrobu série	[Kč]
$N_{CM}$	Náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
$N_E$	Cena elektrické energie	[Kč]
$N_F$	Celková cena formy	[Kč]
$N_{HP}$	Náklady na hodinový provoz stroje	[Kč]
$N_{KS}$	Náklady na jeden kus	[Kč]
$N_{MZ}$	Hrubá hodinová mzda obsluhy vstřikovacího stroje	[Kč]
$N_N$	Náklady na normalizované díly	[Kč]
$N_O$	Mzdové náklady obsluhy	[Kč]
$N_S$	Náklady na provoz stroje celé série	[Kč]
$N_{SR}$	Náklady správní režie	[Kč]
$N_U$	Odhadovaná cena úprav	[Kč]
$N_V$	Odhadovaná cena výroby dílů	[Kč]
$N_{VR}$	Náklady na výrobní režie	[Kč]
$\varnothing d$	Malý vstupní průměr hlavního rozváděcího kanálu	[mm]
$\varnothing D_v$	Velký průměr hlavního rozváděcího kanálu	[mm]
$p$	Vnější tlak	[MPa]
$P$	Příkon stroje	[KW]
$p_1$	Tlak hydraulické kapaliny	[MPa]
$p_2$	Tlak taveniny ve formě	[MPa]
$p_d$	Dotlak	[MPa]
$p_i$	Vnitřní tlak v dutině formy	[MPa]
$p_T$	Tlak vyvolaný tvárníkem a plastem	[MPa]
$p_v$	Vstřikovací tlak	[MPa]
$p_{vmax}$	Maximální vstřikovací tlak stroje	[MPa]
$p_z$	Zbytkový tlak	[mm]
$Q_p$	Maximální plastikační výkon stroje	[kg/h]
$Q_v$	Maximální zdvihový objem	[cm <sup>3</sup> ]
$R$	Technologický rádius	[mm]
$r$	Největší poloměr průchodky	[mm]
$r_1$	Poloměr vnitřní plochy výstřiku	[mm]
$R_a$	Drsnost povrchu	[μm]
$s$	Tloušťka stěny výstřiku	[mm]
$S$	Plocha dutiny kanálů v dělicí rovině kolmo na směr uzavírací síly	[m <sup>2</sup> ]

$s_K$	Pohyb šneku	[mm]
$s_N$	Pohyb nástroje	[mm]
$S_{TV}$	Plocha vnitřního válcového výstřiku	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	čas	[s]
$T$	Teplota	[C <sup>0</sup> ]
$t_0$	Začátek procesu vstřikování	[s]
$t_1$	Doba uzavírání formy	[s]
$t_2$	Doba přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
$t_3$	Doba otevírání formy	[s]
$t_3$	Doba otevírání formy	[s]
$t_4$	Doba vyhazování výstřiku	[s]
$t_5$	Doba prodlevy	[s]
$t_c$	Celková doba cyklu vstřikování	[s]
$t_{cel}$	Čas výroby celé série	[s]
$t_d$	Doba dotlaku	[s]
$t_{DOD}$	Požadovaný termín dodání	[h]
$T_E$	Střední teplota odformování	[C <sup>0</sup> ]
$t_{ch}$	Doba chlazení	[s]
$t_k$	Doba odsunutí tavicí komory	[s]
$t_{kp}$	Doba prodlevy odsunutí komory	[s]
$T_m$	teplota tání	[ <sup>0</sup> C]
$t_m$	Manipulační doba	[s]
$T_M$	Teplota taveniny	[C <sup>0</sup> ]
$t_{pl}$	Doba plastikace	[s]
$t_{s1}$	Strojní časy procesu vstřikování	[s]
$t_{s2}$	Strojní časy procesu vstřikování	[s]
$t_{s3}$	Strojní časy procesu vstřikování	[s]
$T_t$	Teplota tvrzení	[ <sup>0</sup> C]
$t_v$	Doba plnění formy	[s]
$T_w$	Teplota formy	[C <sup>0</sup> ]
$v$	Měrný objem	[cm <sup>3</sup> /g]
$V$	Objem výstřiku	[cm <sup>3</sup> ]
$V_D$	Vstřikovací objem dávky	[cm <sup>3</sup> ]
$V_K$	Objem hmotového zbytku (kanálku)	[cm <sup>3</sup> ]
$X$	Označení ukončení plastikace	[-]
$Z$	Okamžik ztuhnutí vtoku	[-]
$\eta$	Viskozita polypropylenu	[Pa.s]
$\sigma$	Tahové napětí	[MPa]

ABS	Akrylonitril- butadien- styren
CA	Acetát celulózy
FEP	Tetrafluórethylen- hexafluórpropylén
PA	Polyamid
PBT	polybutylenterftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPO	Polyfenylen oxid
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 Část vstřikovací formy [21] .....	Obr. č. 2 Vstřikovací forma [28]	10
Obr. č. 3 Vstřikovací forma pohled na tvarové dutiny [19].....		10
Obr. č. 4 Krytka do stolu.....		11
Obr. č. 5 Nadmolekulární struktura polymerů [17] .....		14
Obr. č. 6 Jednošnekový vytlačovací stroj [17].....		17
Obr. č. 7 Jednošnekový vytlačovací stroj [17].....		17
Obr. č. 8 Fóliový válcovací stroj [20].....		18
Obr. č. 9 Princip výroby vyfukováním [17].....		18
Obr. č. 10 Struktura pěnových plastů [20].....		19
Obr. č. 11 Ohýbání desek z termoplastu [20] Obr. č. 12 Ohýbání hran svařováním [20] .....		19
Obr. č. 13 Princip lepeného spoje [17] .....		20
Obr. č. 14 Typy lepených spojů [17] .....		20
Obr. č. 15 Tepelné svařování [20] .....		21
Obr. č. 16 Princip lisování termoplastů [17].....		21
Obr. č. 17 Vrtáky na plasty [20] .....		22
Obr. č. 18 Vstřikování [17] .....		22
Obr. č. 19 Vstřikovací cyklus [17].....		24
Obr. č. 20 Průběh tlaku při vstřikování termoplastů [16] .....		26
Obr. č. 21 Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů [16] .....		28
Obr. č. 22 Průběh vnitřního tlaku $p_i$ v dutině formy během procesu vstřikování [17] .....		30
Obr. č. 23 Schéma vstřikovacího stroje [17] .....		31
Obr. č. 24 Vstřikovací forma .....		32
Obr. č. 25 Základní části vstřikovací formy .....		34
Obr. č. 26 Průřez rozváděcích kanálů [26] .....		35
Obr. č. 27 Technologické úpravy tvárníků [9].....		36
Obr. č. 28 Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku [26] .....		36
Obr. č. 29 Příklady konstrukčního řešení temperačního okruhu [26].....		37
Obr. č. 30 Krytka do stolu.....	Obr. č. 31 Detail integrálního háčku	38
Obr. č. 32 Umístění dělicí roviny .....		39
Obr. č. 33 Ztuhlá krytka Obr. č. 34 Zahřátá krytka .....		40
Obr. č. 35 Pohledová plocha 1 – výstřik, 2 - stůl.....		40
Obr. č. 36 Technologický rádius.....		41
Obr. č. 37 Technologické úkosy .....		42
Obr. č. 38 Hlavní vtokový kanál.....		46
Obr. č. 39 Diagram pro volbu rozměrů hlavního vtokového kanálu [26] .....		47
Obr. č. 40 Tvar průřezu rozváděcího kanálu a vtokového ústí .....		48
Obr. č. 41 Vyhazování výstřiku .....		49
Obr. č. 42 Vyhazovací systém vtokové soustavy .....		50
Obr. č. 43 Rozměrové parametry dílce .....		50
Obr. č. 44 Řez tvárníku Obr. č. 45 Řez tvárnice .....		53
Obr. č. 46 Temperovací okruh vstřikovací formy .....		53
Obr. č. 47 Odvzdušnění formy.....		54
Obr. č. 48 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 570 S [1].....		55

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Vlastnosti polypropylenů a z něho plynoucí parametry vstřikování .....	38
Tabulka č. 2 Doba vstřikování v závislosti na objemu výstřiku a viskozitě materiálů [10] .....	44
Tabulka č. 3 Parametry stroje potřebné k výpočtu násobnosti formy .....	44
Tabulka č. 4 Korekční součinitel vlastností plastů [23] .....	48
Tabulka č. 5 Korekční součinitel délky rozváděcího kanálku [23] .....	48
Tabulka č. 6 Korekční součinitel vlastností polymeru [23] .....	48
Tabulka č. 7 Orientační hodnoty volby průměru kanálů v závislosti na výstřiku a rámu formy .....	52
Tabulka č. 8 Doporučené vůle pro odvzdušnění [26] .....	54

## Seznam příloh

PŘÍLOHA č.1	Vlastnosti materiálu Tipplen H916A
PŘÍLOHA č.2	Technická data stroje Allrounder 570 S
PŘÍLOHA č.3	Materiálový list 1.1730
PŘÍLOHA č.4	Materiálový list 1.2311
PŘÍLOHA č.5	Materiálový list 1.2210
PŘÍLOHA č. 6	Výkres- Krytka do stolu
PŘÍLOHA č. 7	Výkres- Sestava
PŘÍLOHA č. 8	Výkres- Tvárník
PŘÍLOHA č. 9	Výkres- Tvárnice
PŘÍLOHA č. 10	Výkres- Vložka tvárníku
PŘÍLOHA č. 11	Výkres- Vložka tvárnice

## Polypropylén



### TIPPLEN H 916 A

Homopolymér pre vstrekovanie

\*\*\*\*\*

#### Všeobecné informácie

*TIPPLEN H 916 A* je homopolymér s nízkou molekulovou hmotnosťou a úzkou distribúciou molekulových hmotností. Vďaka vysokej tekutosti sa tento typ vyznačuje dobrým zatekaním do foriem a krátkymi vstrekovacími cyklami. Obsahuje nukleačné a antistatické činidlo.

#### Aplikácie

*TIPPLEN H 916 A* je vhodný na výrobu tenkostenných transparentných kontajnerov, výrobkov pre domácnosť a kuchyňu a obalov pre DVD. Tento typ je tiež vynikajúci ako základný polymér pre kompaundy a koncentráty.

*TIPPLEN H 916 A* je vhodný na výrobky prichádzajúce do kontaktu s potravinami a vyhovuje predpisom o kontakte s potravinami.

#### Vlastnosti

	Testovacia metóda	Jednotka	Typická hodnota
ITT (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133	g/10 min	55
Pevnosť v ťahu na medzi klzu *	ISO 527-1,2	MPa	36,5
Pomerné predĺženie na medzi klzu *	ISO 527-1,2	%	9,5
Modul pružnosti v ťahu *	ISO 527-1,2	MPa	1750
Modul pružnosti v ohybe *	ISO 178	MPa	1850
Rázová húževnatosť Izod (vrubová, 23 °C) *	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	2,5
HDT (0,45 MPa) *	ISO 75-1,2	°C	110
Tvrdosť Rockwell *	ISO 2039/2	R škála	102

Clamping unit				
Clamping force	max. kN	2200		
Closing force	max. kN	76		
Opening force / increased	max. kN	50		
Opening stroke	max. mm	650		
Mould height	max. mm	350		
Daylight	max. mm	900		
Distance between tie bars	mm	570 x 570		
Platen size (hor. x vert.)	mm	795 x 795		
Weight of mov. mould half	max. kg	1400		
Ejector force	max. kN	70		
Ejector stroke	max. mm	70		
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204		
Socket combination (1 single phase, 1 three phase)		1 x 16 A		
Miscellaneous				
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Injection unit according to EUROMAP				
Screw diameter	mm	18 / 22 / 25	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35
Effective screw length	mm	120 / 150 / 175	120 / 150 / 175	120 / 150 / 175
Screw stroke	max. mm	90	100	120
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	23 / 54 / 64	31 / 49 / 71	41 / 85 / 110
Shot weight	max. g PS	21 / 31 / 40	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105
Material roughness <sup>1)</sup>	max. µm	11 / 5 / 5	15 / 5 / 5	15 / 5 / 5
Injection pressure	max. bar	2500 / 2000 / 1550	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470
Injection flow with accumulator <sup>2)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /min	31 / 208 / 239	42 / 304 / 385	49 / 312 / 424
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Incremental screw speed <sup>3)</sup>	max. mm/min	15 / 15 / 15	15 / 15 / 15	15 / 15 / 15
Screw torque	max. Nm	90 / 110 / 120	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290
Nozzle contact force	max. kN	10	10	10
Nozzle retraction stroke	max. mm	50	180	210
Installed cylinder heating power / heating zones	max. kW	15 / 15 / 15	4 / 4 / 4	4 / 4 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,3	0,6	0,6
Material hopper capacity	kg	150	150	150
Horizontal injection position	max. mm	220	220	220
Variable values				
Horizontal injection unit - vertical <sup>4)</sup>		400-70 / -100 / -170 / -290 / -400	800-70 / -100 / -170 / -290 / -400	
Drive power of the hydraulic pump <sup>5)</sup>	kW	10	10	10
Total connected load <sup>6)</sup>	kW	46 / 47 / 51 / 46 / 51	57 / 57 / 61 / 50 / 62	
Oil capacity	l	300	300	300
Net weight of basic machine	kg	9340 / 9380 / 9510 / 9500 / 9630	9610 / 9650 / 9780 / 9770 / 10100	
Electrical connection (pin, type)		120	125 / 125 / 16	125 / 160

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine.

3) Deviations are possible depending upon process settings and material type

4) The drive power of the hydraulic pump is determined by the required injection cycle

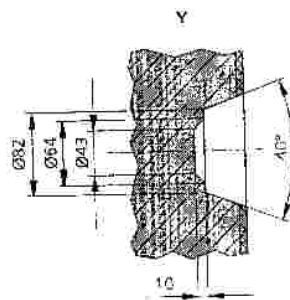
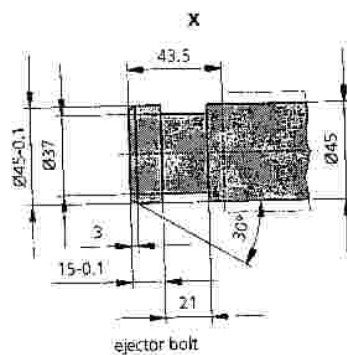
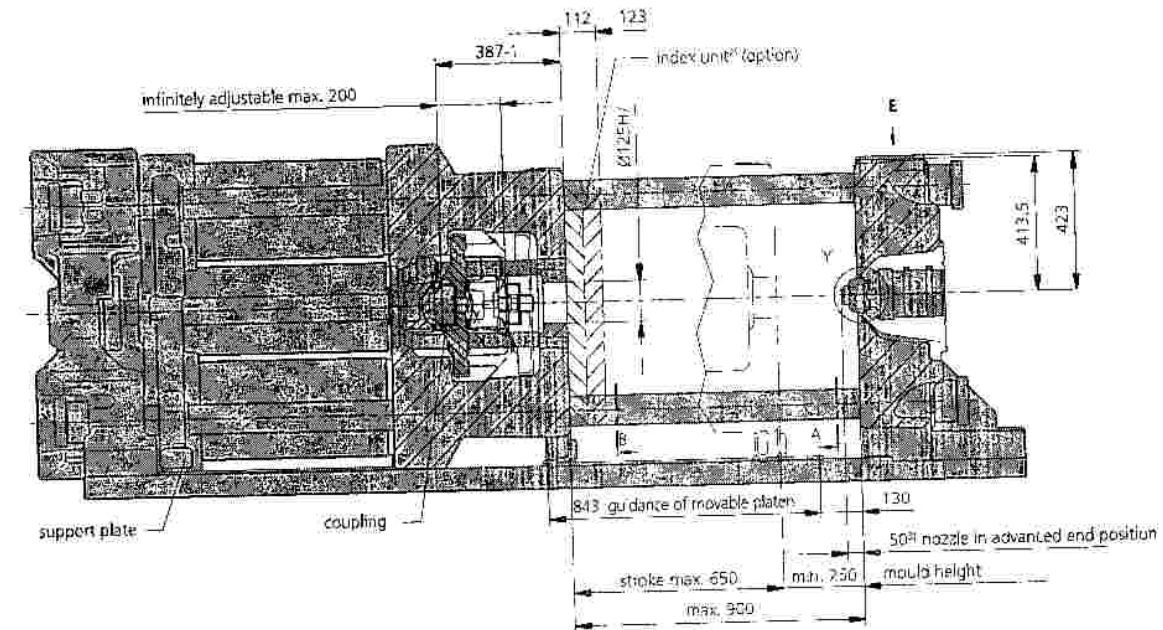
5) Values apply to serial operation. Reduced values are possible with simultaneous movements (depending on equipment of machine)

6) Further injection unit combinations on request

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.

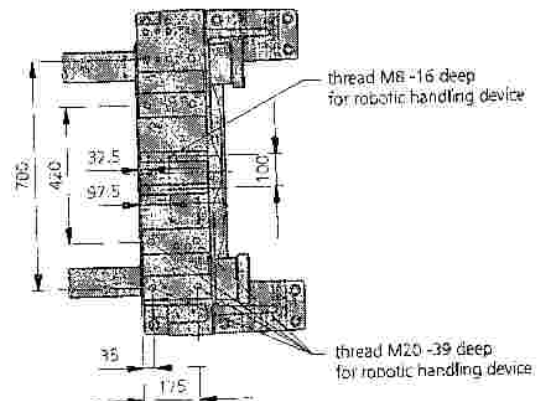






counter bore in the mould required only for short sprue

View E



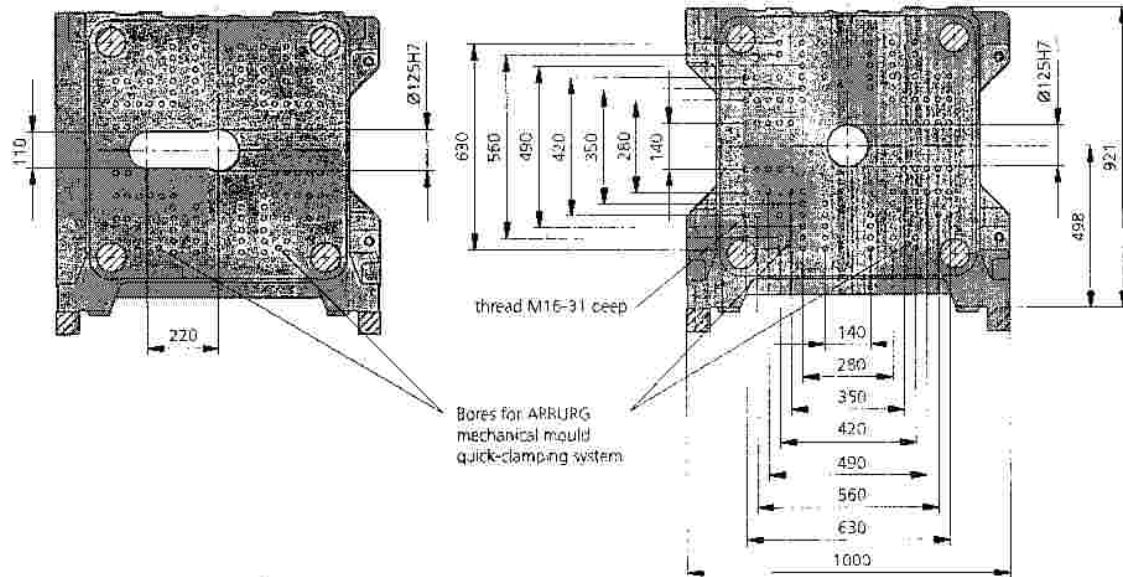
- 1) Dimension for System W indexing unit
- 2) Separate dimensions sheet on request
- 3) Dimensions for horizontally displaceable injection unit reduced by 20 mm

## 570 S

### Fixed platen

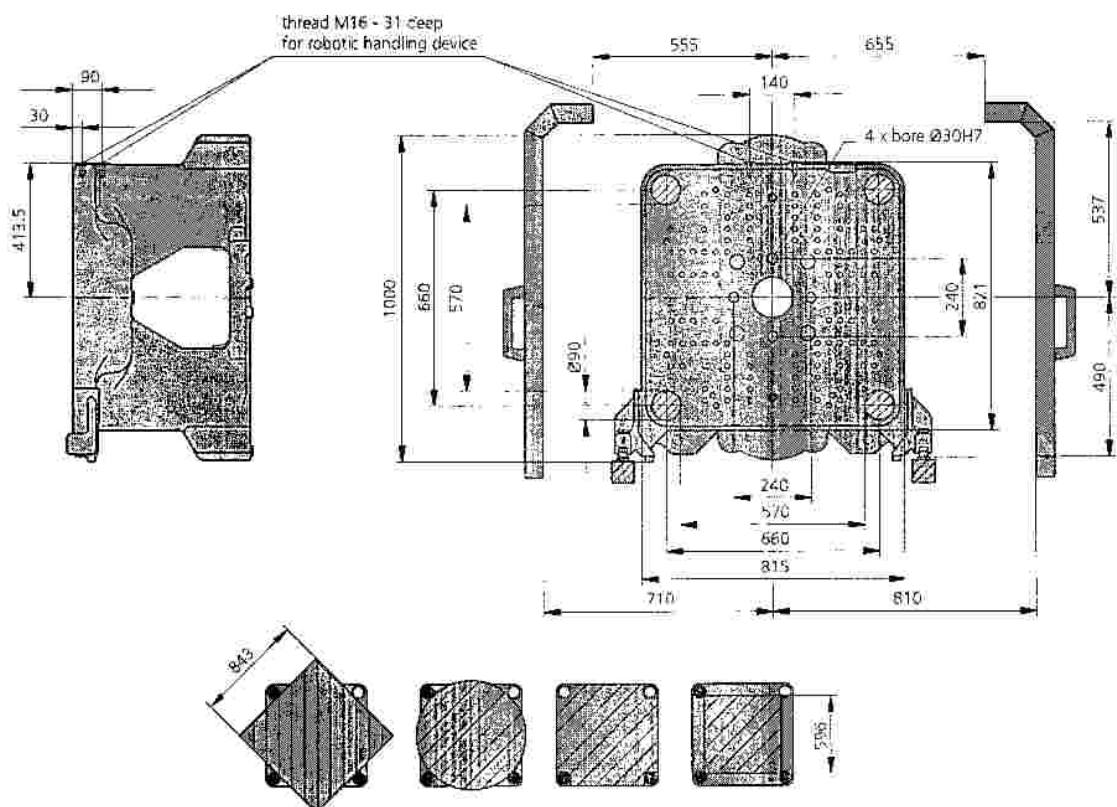
**View A / for horizontally displaceable injection unit**

**View A / for central injection unit**



**Movable platen**

View B



Usable mounting surface with tie bars removed

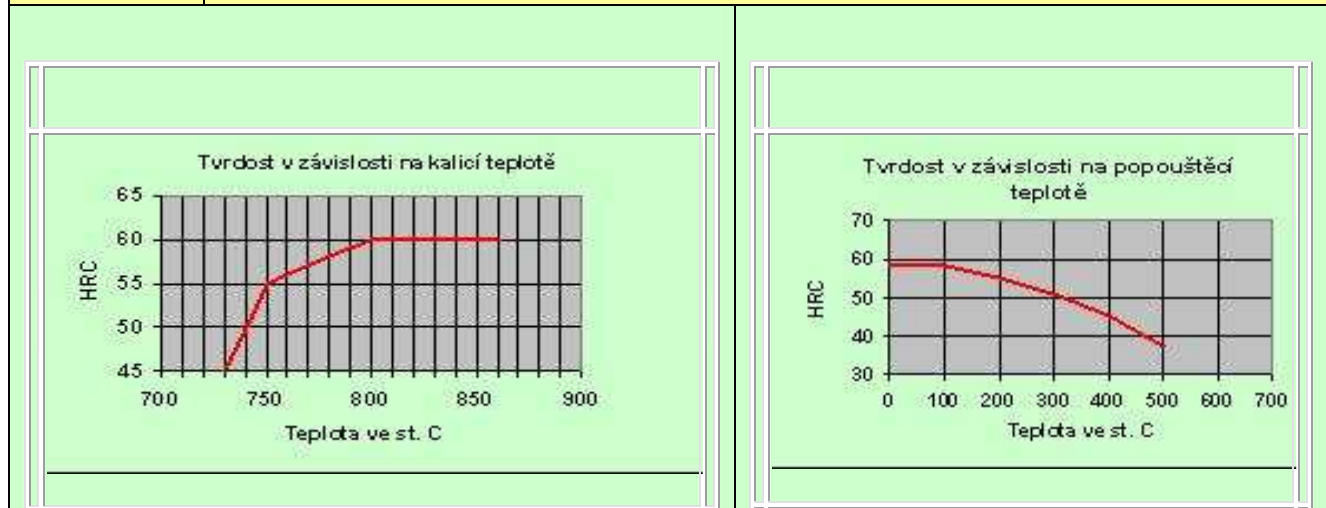


C45U																				
Ocel uhlíková pro práci za studena.																				
Noremní označení	Podle EN ISO 4957				Podle EN 10027-2: 1992			Podle ČSN												
	C45U				1.1730			19 083												
Charakteristika	Ocel s dobrou obrobitelností a stejnoměrností vlastností																			
Obvyklé použití	Ruční nástroje (kleště, šroubováky, kladiva, sekery, kovářské nářadí), polnohospodářské nářadí, části hospodářských strojů, pomocné části lisovacích nástrojů (upínací a základové desky).																			
Chemické složení tavby v hmot. % podle  EN ISO 4957	<table><tr><td>C</td><td>Si</td><td>Mn</td><td>P max.</td><td>S max.</td></tr><tr><td>0,42 – 0,50</td><td>0,15 – 0,40</td><td>0,60 – 0,80</td><td>0,030</td><td>0,030</td></tr></table>										C	Si	Mn	P max.	S max.	0,42 – 0,50	0,15 – 0,40	0,60 – 0,80	0,030	0,030
C	Si	Mn	P max.	S max.																
0,42 – 0,50	0,15 – 0,40	0,60 – 0,80	0,030	0,030																
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot. %	<table><tr><td>C</td><td>Si</td><td>Mn</td><td>P</td><td>S</td></tr><tr><td>± 0,03</td><td>± 0,03</td><td>± 0,04</td><td>+ 0,005</td><td>+0,005</td></tr></table>										C	Si	Mn	P	S	± 0,03	± 0,03	± 0,04	+ 0,005	+0,005
C	Si	Mn	P	S																
± 0,03	± 0,03	± 0,04	+ 0,005	+0,005																
Doporučení pro zpracování																				
	Tváření za tepla	Žhánění			Kalení			Popouštění												
		Norm. žhánění	Žhánění na měkko		°C	Pros- tředí	Tvrlost  HRC  ca	Tvrlost HRC po popouštění při teplotách °C (inf.)												
		°C	°C	Tvrlost HB max.				150	200	300	400									
1050 – 800 °C  vzduch	840-  860	680-  710	190	790-  820	voda	58	57	55	50	44										

Vlastnosti

Zakalená vrstva při kalení do vody		Prokalitelnost při kalení do vody ca mm	Povrchová tvrdost po kalení do vody ca HRC	Prokalitelnost při kalení do oleje ca mm	Povrchová tvrdost po kalení v oleji ca HRC	Rozměrové změny po kalení	Odolnost proti opotřebení	Odolnost proti tlakovému namáhání	Houževnatost
pro rozměry ca mm	hloubka ca mm								
20-100	3 - 5	15	58	5	50	větší	malá	menší	velká

Fyzikální vlastnosti				
Modul pružnosti při 20°C  10 <sup>3</sup> .N.mm <sup>-2</sup>	Hustota  kg.dm <sup>-3</sup>	Měrná tepelná vodivost při 20°C  W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	Střední měrné teplo při 20°C  J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	Měrný elektrický odpor při 20°C  Ω.mm <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>
210	7,85	50	460	0,12
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C				
100	200	300	400	500
11,1	12,0	13,0	13,5	14,0

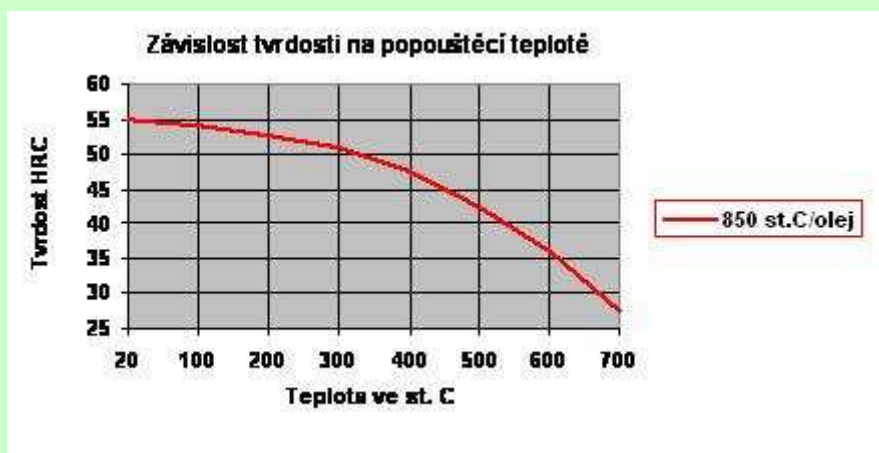


Přibližné teploty fázových přeměn °C		
$A_{c1}$	$A_{c3}$	$M_s$
725	780	350



40CrMnMo7													
Nízko legovaná chrom-mangan-molybdenová ocel k zušlechťování pro zpracování plastů.													
Noremní označení	Podle Stahl-Eisen-Liste		Číselné označení		Podle ČSN								
	40CrMnMo7		1. 2311		přibližně 19 520								
Charakteristika	Zušlechtěná ocel pro výrobu forem k zpracování plastických hmot.												
Obvyklé použití	Velké a střední formy pro zpracování plastů, rámy forem na plasty a formy pro tlakové lití, strojní díly používané pro stavbu strojů a konstrukci nástrojů. Ocel se dodává v zušlechtěném stavu (není třeba dále tepelně zpracovávat). Ocel je dobře obrobitelná a leštitelná. Je vhodná k nitridování.												
Chemické složení tavby v hmot. % podle													
Stahl-Eisen-Liste	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V						
	0,35-0,45	0,20-0,40	1,30-1,60	1,80-2,10	0,15-0,25	-	-						
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot.%													
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V						
	± 0,03	± 0,03	± 0,08	± 0,07	± 0,03	-	-						
Doporučení pro zpracování													
	Tváření za tepla	Žihání na měkko		Kalení			Popouštění						
		Teplota °C	Teplota °C	Tvrdost HB max.	Teplota °C	Prostředí	Tvrdost HRC	Tvrdost HRC po popouštění °C					
								100	200	300	400	500	550
								54	52	51	47	43	40
	1050-850	720-740	230	840-860 860-880	olej 2), 3)	55 4)	600 36	650 32	700 27	Obvyklá pevnost v dodaném stavu 1000-1100 MPa			
	1) ochlazování v suchém prostředí s tepelnou izolací nebo na klidném vzduchu;												
	2) vzduch;												
3) teplota popouštění 650-670° C;													
4) tvrdost povrchu po kalení													

Vlastnosti	Fyzikální vlastnosti				
	Modul pružnosti při 20°C $10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	Hustota $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	Měrná tepelná vodivost při 20°C $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Střední měrné teplo při 20°C $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Měrný elektrický odpor při 20°C $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
	210	7,85	33,0	460	0,19
	Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C ( $10^{-6} \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )				
	100	200	300	400	500
	12,7	12,9	13,7	13,9	14,1



**Charakteristika**

Chrom - vanadová ocel se střední prokalitelností ke kalení v oleji a ve vodě, poměrně dobrá houževnatost při vysoké tvrdosti, dobrá odolnost proti opotřebení a řezivost . Obtížnější tvárnost za tepla a dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu.

**Vhodnost použití**

Nástroje pro stříhání za studena tj. přestřihovací, prostřihovací, ostřihovací a děrovací nástroje, nože nůžek pro stříhání materiálů menších tloušťek. Nástroje řezné na obrábění menšími řeznými rychlostmi např. vrtáky, výstružníky, závitníky aj. Dále na formy a pomocné části např. vyhazovače, kolíky apod.

**Chemické složení oceli W.Nr. 1.2210**

Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
												Žíh. na měkko	Zušlechtném
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	HB max.	HRC min.
DIN 115CrV3	1,10-1,25	0,20-0,40	0,15-0,30	0,50-0,80			0,07-0,12			0,030	0,030	223	60
ČSN 19 421	1,10-1,25	0,15-0,35	0,15-0,35	0,90-1,20			0,07-0,15	0,35		0,030	0,035	220	64



Tepelné zpracování oceli W.Nr. 1.2210

Způsob		Teplota [°C]	Postup
Kování		800-1050	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo v jiném tepelně izolačním materiálu
Žihání na měkko		710-750	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žihání ke snížení pnutí		600-650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	ve vodě	810-840	Materiály do tloušťky cca 15mm
	v oleji	780-810	Materiály nad cca 15mm tloušťky
Popouštění		180-250	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

Poznámka

Tabulka popouštěcích hodnot v závislosti na tvrdosti:

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	64	62	57	51	44	36

Graf

